



Laivojen typen- oksidipäästöjen rajoittaminen

Selvitys MARPOL-yleissopimuksen VI liitteen Tier III -määräysten aiheuttamista kustannusvaikutuksista Suomen kauppamerenkululle

Liikenne- ja viestintäministeriön

toiminta-ajatus

Liikenne- ja viestintäministeriö edistää yhteiskunnan toimivuutta ja väestön hyvinvointia huolehtimalla siitä, että kansalaisten ja elinkeinoelämän käytössä on laadukkaat, turvalliset ja edulliset liikenne- ja viestintäyhteydet sekä alan yrityksillä kilpailukykyiset toimintamahdollisuudet.

visio

Suomi on eturivin maa liikenteen ja viestinnän laadussa, tehokkuudessa ja kansainvälisessä osaamisessa.

arvot

Rohkeus

Oikeudenmukaisuus

Yhteistyö



Julkaisun nimi

**Laivojen typenoksidipäästöjen rajoittaminen. Selvitys MARPOL-yleissopimuksen VI liitteen Tier III -määräysten aiheuttamista kustannusvaikutuksista Suomen kaup-
pamerenkululle**

Tekijät

Tapio Karvonen, Juha Kalli ja Elisa Holma

Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä

Liikenne- ja viestintäministeriö

Julkaisusarjan nimi ja numero

**Liikenne- ja viestintäministeriön
julkaisuja 42/2010**

ISSN (verkkojulkaisu) 1798-4045

ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-243-212-4

HARE-numero

Asianumero

Asiasanat

Alus, merenkulku, typen oksidit, päästörajoitukset, meriympäristö, kuljetuskustannukset, ta-
loudelliset ohjauskeinot

Yhteyshenkilö

Lolan Eriksson, liikenne- ja viestintäministeriö

Muut tiedot

Tiivistelmä

Kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n vuonna 2008 tekemän päätöksen mukaan alusten typenoksidipäästöjä (NOx) rajoitetaan vaiheittain. Uusien määräysten mukainen Tier III -vaatimustaso tulee voimaan uusilla aluksilla 1.1.2016 alkaen erikseen määriteltävillä NOx-päästöjen valvonta-alueilla (NECA). Tier III -tason vaatimusten täyttäminen edellyttää NOx-päästöjen vähentämistä noin 80 % nykytasosta. Itämeren suojelukomission (HELCOM) tavoitteena on Itämeren nimeäminen NECA-alueeksi, ja Itämeren valtiot valmistavat tästä parhail-
laan hakemuksen IMO:lle. Samalla ne tukevat myös Pohjanmeren nimeämistä NECA-alueeksi.

Pakokaasun jälkikäsittelymenetelmä SCR-katalysaattori on ainoa tällä hetkellä markkinoilla oleva tekniikka, joka kykenee vastaamaan Tier III -vaatimukseen ja jolle voidaan laskea riittä-
vän tarkka kustannusarvio. Uusia tekniikoita kuitenkin kehitetään ja joitakin on odotettavissa markkinoille ennen vuotta 2016. Myös nesteytetyn maakaasun käyttö polttoaineena täyttää Tier III -tason vaatimukset.

Tässä tutkimuksessa on tehty tulevaisuusskenaariot SCR-laitteiston aiheuttamille lisäkus-
tannuksille. Investointikustannukset on laskettu kahdelle skenaariolle, joista ensimmäisessä kaikki uudet moottorit v. 2016 alkaen varustetaan SCR-laitteistolla. Toisessa oletetaan, että muodostuu NECA-alueille erikoistunut laivasto, jolloin laitteisto asennettaisiin vain siihen ko-
netehoon, joka muodosti 95 % perusvuonna 2008 kunkin alustyyppin NOx-päästöistä. SCR-laitteiston käyttökustannuksista suurin osa muodostuu urean kulutuksesta.

SCR-laitteiston hankintahintana on käytetty 50 €/kW. SCR-laitteiston osuus esimerkiksi 9 700 dwt:n ropax-aluksen hankintahinnasta olisi arviolta 2,6 %. Arvioidut lisäkustannukset Suomessa käyville laivoille olisivat skenaariosta riippuen 15–17 milj. euroa vuonna 2020 ja 62–69 milj. euroa vuonna 2030 olettaen, että sekä Itämeri että Pohjanmeri ovat NECA-
alueita. Jos vain Itämeri nimetään NECA-alueeksi, niin lisäkustannukset olisivat arviolta noin 10 % pienemmät, koska SCR-laitteistoa ei olisi pakko käyttää Pohjanmeren alueella.

Uusiin aluksiin asennettava SCR-laitteisto lisää alusten päiväkustannuksia keskimäärin 3,4 % verrattuna kustannusrakenteeseen v. 2010. Kustannusnousu riippuu alustyyppistä ja -
koosta. Typpipäästöjen rajoittaminen vaikuttaa rahtihintoihin sitä mukaa, kun aluskanta uu-
siutuu olettaen, että varustamot siirtävät kohoavat kustannukset suoraan rahtihintoihin.

Kuljetuskustannuksiin kohdistuvia nousupaineita voidaan vähentää esimerkiksi taloudelli-
silla ohjauskeinoilla, joilla kannustettaisiin siirtymään vähäpäästöisen teknologian käyttöön.

Publikation

Begränsning av kväveoxidutsläpp från fartyg. Utredning av Tier III-reglerna i bilaga VI till MARPOL-konventionen och deras kostnadsinverkan på Finlands handelssjöfart.

Författare

Tapio Karvonen, Juha Kalli och Elisa Holma

Tillsatt av och datum

Kommunikationsministeriet

Publikationsseriens namn och nummer

**Kommunikationsministeriets
Publikationer 42/2010**

ISSN (webbpublikation) 1798-4045

ISBN (webbpublikation) 978-952-243-212-4

HARE-nummer

Ärendenummer

Ämnesord

Fartyg, sjöfart, kväveoxider, utsläppsbegränsningar, havsmiljö, transportkostnader, ekonomiska styrmedel

Kontaktperson

Lolan Eriksson, kommunikationsministeriet

Övriga uppgifter

Rapporten är på finska.

Sammandrag

Enligt det beslut som Internationella sjöfartsorganisationen (IMO) fattade år 2008 ska utsläpp av kväveoxider (NOx) från fartyg begränsas stegvis. Tier III-krav som är förenliga med de nya bestämmelserna träder i kraft på nya fartyg fr.o.m. 1.1.2016 i särskilt definierade kontrollområden av NOx-utsläpp (NECA). Att uppfylla Tier III-kraven förutsätter att NOx-utsläppen minskas med ca 80 % från nuläget. Östersjöns skyddskommissions (HELCOM) mål är att definiera Östersjön som ett NECA-område och staterna kring Östersjön bereder en ansökan om det till IMO. Samtidigt stöder de definieringen av Nordsjön som ett NECA-område.

Efterbehandling av avgaser med en SCR-katalysator är den enda teknik som redan finns på marknaden som uppfyller Tier III-kraven och vars kostnader kan beräknas tillräckligt noggrant. Nya tekniker utvecklas dock och några av dem väntas nå marknaden före år 2016. Användning av flytande naturgas (LNG) som bränsle uppfyller också Tier III-kraven.

I denna utredning har man gjort framtidsscenarion för tilläggs-kostnader orsakade av SCR-utrustning. Investeringskostnader har kalkylerats för två scenarion. I det första scenariot förses alla nya motorer med en SCR-utrustning fr.o.m. 1.1.2016. I det andra antas att det bildas en NECA-specialiserad flotta, då endast den maskinstyrka som motsvarade 95 % av NOx-utsläpp inom varje fartygstyp år 2008 förses med en SCR-utrustning. Den största delen av SCR-utrustningens användningskostnader består av konsumtion av urea.

Som SCR-utrustningens anskaffningspris har man använt 50 €/kW. SCR-utrustningens andel av anskaffningspriset på t.ex. ett ropax-fartyg på 9 700 dwt uppskattas till 2,6 %. De beräknade tilläggs-kostnaderna för fartyg som trafikerar Finland värderas, beroende på scenariot, till 15–17 milj. euro år 2020 och 62–69 milj. euro år 2030 med antagande att både Östersjön och Nordsjön definieras som NECA-områden. I det fall att endast Östersjön definieras som ett NECA-område beräknas tilläggs-kostnaderna bli ca 10 % lägre eftersom SCR-utrustning i så fall inte är obligatorisk på Nordsjön.

Den SCR-utrustning som installeras på nya fartyg ökar ett fartygs dagskostnader i medeltal med 3,4 % jämfört med kostnadsstrukturen år 2010. Hur stor kostnadshöjningen är beror på fartygstyp och -storlek. Begränsningen av kväveutsläpp påverkar fraktpriserna när nya fartyg kommer in på marknaden förutsatt att rederierna överför de ökade kostnaderna direkt till fraktpriserna.

Trycket att höja transportkostnaderna kan lättas t.ex. med ekonomiska styrmedel som uppmuntrar övergången till att använda teknologi med låga utsläpp.

Date
31 December 2010

Title of publication

Limiting NO_x emission from ships. Study on cost effects of MARPOL Annex VI Tier III regulations on Finnish merchant shipping

Author(s)

Tapio Karvonen, Juha Kalli and Elisa Holma

Commissioned by, date

Ministry of Transport and Communications

Publication series and number

Publications of the Ministry of Transport and Communications 5/2011

ISSN (online) 1798-4045

ISBN (online) 978-952-243-212-4

Reference number

Keywords

Vessel, shipping, nitrogen oxides, emission limitations, marine environment, transport costs, economic incentives

Contact person

Lolan Eriksson, Ministry of Transport and Communications

Other information

The report is in Finnish.

Abstract

According to the decision made in 2008 by the International Maritime Organization (IMO), nitrogen oxide (NO_x) emissions from vessels will be limited in stages. The Tier III standard complying with the new regulations will enter into force for new vessels on 1 January 2016 in Nitrogen Emission Control Areas (NECA) to be separately designated. Meeting the new Tier III standard requires that NO_x emissions be reduced by about 80% from the present level. The Helsinki Commission (HELCOM) aims at designating the Baltic Sea as a NECA, and States around the Baltic Sea are currently drafting an application concerning this to the IMO. At the same time, they also support the designation of the North Sea as a NECA.

Selective catalytic reduction (SCR) is the only technology currently available which enables meeting the Tier III reduction requirements and which we know enough about in order to make adequate abatement cost estimates. However, new technologies are being developed and some of them are expected to enter the market before 2016. The use of liquefied natural gas (LNG) as a fuel meets the Tier III requirements, too.

The present study describes possible future scenarios for additional costs caused by SCR equipment. The investment costs have been calculated for two scenarios: the first of these assumes that all new engines will be equipped with the SCR system from 1 January 2016, while the second one assumes that a specialised fleet will be constructed for NECAs. In the latter case, the SCR would be installed only in the engine power which formed 95% of the NO_x emissions of each vessel type in the base year 2008. Most operational costs arising from SCR equipment are caused by the use of urea.

EUR 50/kW is used as the purchase price of SCR equipment. The share of SCR equipment in the purchase price of a 9,700-dwt ropax-vessel, for example, would be some 2.6%. The estimated additional costs for vessels visiting Finland would be, depending on the scenario, EUR 15–17 million in 2020 and EUR 62–69 million in 2030 provided that both the Baltic and the North Sea are designated as NECAs. If only the Baltic Sea were a NECA, the additional costs would be some 10% lower as it would not be necessary to use SCR in the North Sea.

SCR equipment installed on new vessels will increase the vessels' daily costs by 3.4% on average when compared to the cost structure in 2010. The rise in costs depends on the vessel type and size. The reduction of NO_x emissions affects the freight rates as new vessels enter the market, assuming that ship owners incorporate the rising costs directly into the freight rates.

The pressure to raise freight rates can be eased up by measures such as economic incentives motivating the transition to a low-emission technology.

Sisällysluettelo

1.	Johdanto	3
1.1	MARPOL-yleissopimuksen ilmansuojeluliitteen mukaiset NOx-päästörajoitukset ..	3
1.2	MARPOL-yleissopimuksen ECA-alueet	3
1.3	Muut NECA-selvitykset	4
1.4	Tämän selvityksen päätavoitteet	5
2.	Teknologiakatsaus.....	6
2.1	SCR-menetelmä	6
2.2	Kaasumoottorit ja nesteytetty maakaasu	7
2.3	Muut NOx-päästöjen vähennysmenetelmät	7
3.	Laitteiden investointi- ja käyttökustannukset	9
3.1	Tutkittavat laivajoukot	9
3.2	Tutkittava alue.....	10
3.3	Investointikustannukset	11
3.4	Käyttökustannukset.....	13
4.	Investointi- ja käyttökustannustulokset.....	18
4.1	Investointi- ja käyttökustannukset.....	18
4.2	Alustyyppikohtaiset lisäkustannukset	20
5.	SCR-laitteiston vaikutus alustyyppien päiväkustannusrakenteisiin	23
6.	Typenoksidipäästörajoitusten vaikutus rahtihintatasoon.....	28
6.1	Vaikutus rahtihintatasoon	28
6.2	Vaikutus toimialoihin.....	31
7.	Taloudelliset ohjauskeinot uuden teknologian edistämiseksi	33
7.1	HELCOM-suositus	33
7.2	Ruotsin väylämaksuun perustuva malli	35
7.3	Norjan NOx-vero	35
7.4	NOx-päästömaksujärjestelmä	36
7.5	Suomen lainsäädännön kannustinmahdollisuudet	36
8.	Johtopäätökset	38

Lähteet

Liite 1. MARPOL-yleissopimuksen VI liitteen mukaiset NOx-päästörajoitukset

Liite 2. Alustyyppikohtaiset Tier III -lisäkustannukset

Käytetyt lyhenteet

AIS	Automatic Identification System, alusten tunnistamisjärjestelmä
DWT	Deadweight tonnage, kuollut paino eli aluksen kantavuus
ECA	Emission Control Area, päästöjen valvonta-alue
EGR	Exhaust gas recirculation, pakokaasun takaisinsyöttö moottorin palotilaan
HELCOM	Helsinki Commission, Itämeren merellisen ympäristön suojelukomissio
IMO	International Maritime Organization, Kansainvälinen merenkulkujärjestö
LNG	Liquefied natural gas, nesteytetty maakaasu
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution From Ships
MEPC	Marine Environment Protection Committee, IMO:n meriympäristön suojelukomitea
NECA	NOx Emission Control Area, typen oksidipäästöjen valvonta-alue
NOx	Nitrogen oxides, typen oksidit
Ropax	Ro-ro-matkustaja-alus
Ro-ro	Ro-ro-lastialus
SCR	Selective catalytic reduction, pakokaasujen jälkikäsittelymenetelmä
SECA	SOx Emission Control Area, rikin oksidipäästöjen valvonta-alue
SNOOP	Shipping-induced NOx and SOx emissions – OPerational monitoring network
SOx	Sulphur oxides, rikin oksidit
TEU	Twenty foot equivalent unit, konttiliikenteen perusmittayksikkö (20 jalan kontti)

1. Johdanto

1.1 MARPOL-yleissopimuksen ilmansuojeluliitteen mukaiset NOx-päästörajoitukset

Kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n meriympäristön suojelukomitea MEPC hyväksyi 9.10.2008 MARPOL-yleissopimuksen uudistetun ilmansuojeluliitteen (VI liite). Uusilla säännöillä rajoitetaan alusliikenteen tavanomaisia typen oksidien (NOx) ja rikin oksidien (SOx) päästöjä ilmakehään ja niiden laskeumia mereen. Polttoaineiden rikkipitoisuutta vähentämällä pyritään myös alentamaan laivaliikenteestä aiheutuvia hiukkaspäästöjä. Säännösten tavoitteena on vähentää päästöjen haitallisia vaikutuksia ihmisen terveydelle ja meriympäristölle sekä lisätä merenkulun turvallisuutta.

Alusten typenoksidipäästöjä (NOx) rajoitetaan vaiheittain. IMO:n määrittelemiä kolmen vaatimustason päästörajoituksia kutsutaan yleisesti nimillä Tier I, Tier II ja Tier III. Tier I -taso määriteltiin VI liitteen vuoden 1997 versiossa, joka astui voimaan 19.5.2005, kun riittävä määrä IMO:n jäsenmaita oli sen ratifioinut. Tier I on globaali päästörajoitus ja sen määräykset koskevat dieselmoottoreita, joiden teho on yli 130 kW ja jotka on asennettu aluksiin 1.1.2000 tai sen jälkeen.

Tier II ja Tier III -tasot määriteltiin, kun uudistettu VI liite hyväksyttiin vuonna 2008. Tier II:n vaatimuksena on, että NOx-päästöjen määrän on vähennettävä noin 20 prosenttia riippuen moottorin kierrosluvusta Tier I -säännöksiin verrattuna. Tier II koskee kaikkia aluksia, joiden kölinlaskupäivä on 1.1.2011 tai sen jälkeen sekä olemassa oleviin aluksiin 1.1.2011 tai sen jälkeen asennettavia uusia dieselmoottoreita (paitsi tapauksia, joissa vanhat moottorit korvataan täysin identtisillä moottoreilla).

Tier III -tason vaatimusten täyttäminen edellyttää NOx-päästöjen vähentämistä 80 prosenttia Tier I -säännöksiin verrattuna. Tier III tulee voimaan vuonna 2016. Tier III -vaatimukset täyttävät moottorit vaaditaan erikseen määriteltävillä typpipäästöjen valvonta-alueilla (NECA) liikkuvilla aluksilla, joiden kölinlaskupäivä on 1.1.2016 tai sen jälkeen. Kun alukset liikkuvat NECA-alueiden ulkopuolella, niitä koskevat Tier II -säännökset. MARPOL-yleissopimuksen NOx-päästörajoitukset on esitetty yksityiskohtaisesti liitteessä 1. Tier III -tason saavuttaminen onnistuu nykytekniikalla esimerkiksi katalysaattorijärjestelmän käyttöönotolla tai käyttämällä polttoaineena nesteytettyä maakaasua (vaatii erityiset nesteytettyllä maakaasulla toimivat moottorit).

Uudistetun VI liitteen säännöt tulivat kansainvälisesti voimaan 1.7.2010 noudattaen MARPOL-yleissopimuksen mukaista ns. hiljaista hyväksymismenettelyä. Myös vanhojen alusten dieselmoottoreiden NOx-päästöille tuli VI liitteen myötä rajoituksia. Uudet säännöt koskevat 1990-luvulla rakennettujen alusten dieselmoottoreita, joiden teho on yli 5 000 kW ja joiden sylinteritilavuus on vähintään 90 litraa. Näiden moottoreiden tulee täyttää nykyiset Tier I -säännösten mukaiset NOx-päästömääräykset. Uudet vaatimukset eivät koske pelkästään hätäjärjestelminä käytettäviä dieselmoottoreita.

1.2 MARPOL-yleissopimuksen ECA-alueet

Itämeren kattava NECA-alue sisältyy Itämeren merellisen ympäristön suojelukomission (HELCOM) Itämeren toimintaohjelmaan (Baltic Sea Action Plan BSAP). HELCOM:in ministerikokouksessa toukokuussa 2010 Itämeren valtiot sopivat NECA-hankkeen edistämiseksi. IMO:lle päätettiin tehdä yhteinen aloite, mieluiten vuonna 2011, jossa Itämeri määriteltäisiin NECA-alueeksi. Samalla valtiot tukevat NECA-alueiden perustamista myös muualle, varsinkin Pohjanmerelle.

IMO:ssa on vuonna 2010 hyväksytty Pohjois-Amerikan päästöjen valvonta-alue, joka kattaa sekä rikki- että typpipäästöt. Maantieteellisesti alue kattaa Yhdysvaltojen ja Kanadan Tyynenmeren, Meksikonlahden ja Atlantin rannikot sekä Havaijin pääsaaret (sekä Ranskan Saint-Pierre- ja Miquelon -territoriot) 200 merimailin päähän rannasta. Päätös Pohjois-Amerikan ECA:sta tulee voimaan elokuussa 2011.

Lisäksi IMO:ssa lokakuussa 2008 hyväksytyn ilmansuojeluliitteen mukaisesti aluksissa käytettävän polttoaineen rikkipitoisuus laskee Itämeren, Pohjanmeren ja Englannin kanaalin kattavilla rikkipäästöjen valvonta-alueilla (SECA) 1,5 prosentista 1,0 prosenttiin 1.7.2010 alkaen ja 0,1 prosenttiin 1.1.2015 alkaen. Globaalilla tasolla polttoaineen korkein sallittu rikkipitoisuus laskee 1.1.2012 alkaen 4,5 prosentista 3,5 prosenttiin ja 1.1.2020 alkaen 0,5 prosenttiin. Rikkipesureiden käyttö on sallittua, joten rikkipesurein varustetuissa aluksissa voidaan käyttää myös nykyään käytössä olevia polttoainelaatuja. Rikkipesurin käyttö vaikuttaa myös NO_x-päästöjen vähentämiseen, koska se nostaa katalyysattorijärjestelmän investointi- ja käyttökustannuksia.

1.3 Muut NECA-selvitykset

HELCOM:in jäsenvaltiot valmistavat parhaillaan IMO:lle tehtävää hakemusta, jossa Itämeri nimettäisiin NECA-alueeksi. Työn tueksi HELCOM teetti Turun yliopiston merenkulualan koulutus- ja tutkimuskeskuksella selvityksen Itämeren NECA-alueen taloudellisista vaikutuksista (Kalli et al. 2010). Selvitys valmistui lokakuussa 2010.

HELCOM:in teettämän Baltic NECA – economic impacts -selvityksen lähtökohtana on, että pakokaasun jälkikäsittelymenetelmä Selective Catalytic Reduction (SCR) on ainoa tällä hetkellä käytettävissä oleva tekniikka, jolla Tier III -tason vaatimuksiin päästään ja jolle voidaan tehdä riittävän luotettavat kustannusarviot. Selvityksessä laskelmat tehtiin kahdelle skenaariorille, joista skenaario 1:ssä olettamuksena on, että tulevaisuusskenaarion osoittamalle uudelle koneteholle asennetaan SCR-laitteisto. Skenaariossa 2 on investointikustannusten arviota muutettu pudottamalla tulevaisuusskenaarion laivajoukosta pois alukset, jotka lähtövuonna 2008 ovat vain nopeasti käväisseet Itämerellä. Menetelmä kuvaa tilannetta, jossa SCR-laitteistolla varustetut laivat korvaavat näiden joukosta pudotettujen liikennesuoritteiden. Skenaariot 1 ja 2 menetelmiä sovelletaan myös tässä tutkimuksessa, jotta vertailtavuus selvitysten välillä säilyisi.

Molemmissa skenaarioissa oletuskorkotaso on 5 prosenttia. Skenaario 1:ssä kokonaislisäkustannukset vuonna 2030 ovat 213 miljoonaa euroa ja yhden NO_x-tonnin poistamisen keskimääräinen kustannus on 1 362 euroa. Skenaario 2:ssä kokonaislisäkustannukset vuonna 2030 ovat 160 miljoonaa euroa ja yhden NO_x-tonnin poistamisen keskimääräinen kustannus on 1 022 euroa. Kustannukset vaihtelevat alustyypeittäin huomattavasti. Typenoksidien poistaminen Itämeren laivaliikenteen päästöistä on suunnilleen yhtä kustannustehokasta kuin niiden poistaminen jätevedenpuhdistuksessa tiheästi asutuilla alueilla. HELCOM:in teettämän selvityksen mukaan meriliikenteen rahtikustannukset nousevat SCR-laitteiston asentamisen ja käytön vuoksi arviolta 2–5 prosenttia alustyyppistä ja -koosta riippuen.

Euroopan komissio teetti brittiläisellä AEA Technology -konsulttiyrityksellä meriliikenteen eri polttoainelaatujen ilmapäästöihin liittyvän laajan hyöty-kustannusanalyysin, jonka raportti valmistui joulukuussa 2009 (AEA Technology 2009). Raportissa analysoidaan IMO:n uusien rikin ja typen oksidien päästörajoitusten ja päästöjen valvonta-alueiden mahdollisten laajennusten hyötyjä sekä tehdään laskelmia näistä aiheutuvista kustannuksista. Lisäksi arvioidaan päästöjen vähentämisessä tarvittavien laitteistojen vaikutuksia, kustannuksia, riskejä sekä teknisiä vaatimuksia.

1.4 Tämän selvityksen päätavoitteet

Tämän selvityksen päätavoitteena on arvioida MARPOL-yleissopimuksen uudistetun VI liitteen uusia laivoja koskevien Tier III -tason NOx-päästörajoitusten mukaisten laitteiden investointi- ja käyttökustannuksia ja niiden vaikutuksia Suomen ja Manner-Euroopan välisen tavaraliikenteen kuljetuskustannuksiin. Rikkipäästöjä koskevien määräysten vaikutuksia kuljetuskustannuksiin arvioitiin liikenne- ja viestintäministeriön vuonna 2009 teettämässä selvityksessä (Kalli et al. 2009).

Laskelmat perustuvat seuraaviin pohjatietoihin ja olettamuksiin:

- alusten käyttöikä on 30 vuotta, jonka jälkeen alus korvataan uudella
- polttoaineen hintana kahden vuoden keskiarvo (27.10.2008–26.10.2010)
- typenpoistolaitteistojen käyttö ei vaikuta alusten polttoaineenkulutukseen eikä miehistön määrään

Selvitys tehtiin Turun yliopiston merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksessa (MKK). Selvityksen toteuttamisesta vastasivat hankkeen projektipäällikkönä erikoistutkija Tapio Karvonen sekä projekti-insinööri Juha Kalli ja tutkimusasiantuntija Elisa Holma. Selvityksen tilaajana ja rahoittajana toimi liikenne- ja viestintäministeriö. Selvitystyön ohjausryhmän puheenjohtajana toimi hallitusneuvos Lolan Eriksson liikenne- ja viestintäministeriöstä. Ryhmän muut jäsenet olivat asiantuntija Tiina Haapasalo Elinkeinoelämän keskusliitosta (EK), asiantuntija Eija Kanto Suomen Varustamot ry:stä, merenkulun ylitarkastaja Jorma Kämäräinen Liikenteen turvallisuusvirasto TraFista, neuvotteleva virkamies Maija Pietarinen ympäristöministeriöstä ja ylitarkastaja Jarno Virta liikenne- ja viestintäministeriöstä.

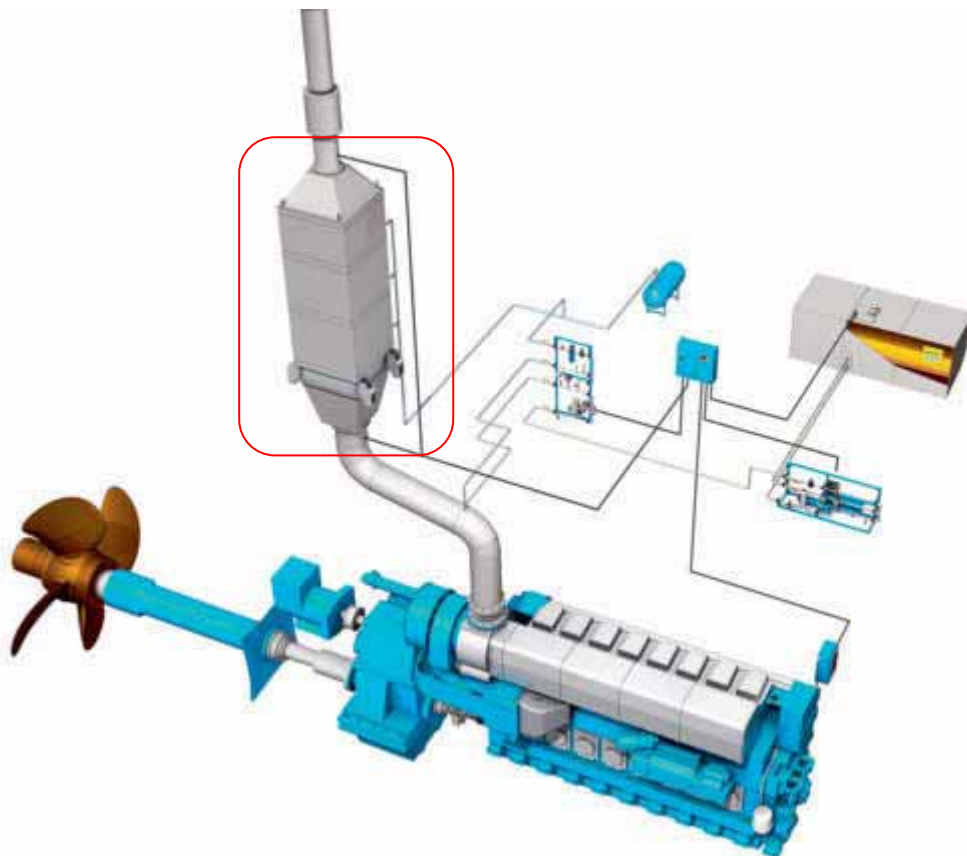
2. Teknologia katsaus

Itämeren ja Pohjanmeren nimeäminen typpipäästöjen valvonta-alueeksi tarkoittaisi sitä, että IMO:n määrittämä Tier III -vaatimustaso uusille laivamoottoreille, jotka on asennettu vuonna 2016 tai sen jälkeen, tulee voimaan näillä merialueilla. Tier III -taso vaatii 80 prosentin NO_x-vähennyksen Tier I -tasoon nähden, mikä on jo varsin merkittävä vähennys ja teknologialle haasteellinen. Tänä päivänä vain kaksi menetelmää täyttää Tier III -vaatimustason:

1. Selective Catalytic Reduction (SCR) eli ureaa hyödyntävä katalysaattori ja
2. Kaasumootorit ja nesteytetyn maakaasun (LNG, Liquefied Natural Gas) käyttäminen polttoaineena.

2.1 SCR-menetelmä

SCR on pakokaasun jälkikäsittelymenetelmä, jonka vähennystehokkuus on noin 85–95 prosenttia. Tällä tehokkuudella NO_x-yhdisteitä syntyy alle 2 g/kWh. Järjestelmä on asennettava erikseen jokaiselle moottorille (Kuva 2.1).



Kuva 2.1 SCR-laitteisto (kuvassa punaisella kehyksellä merkitty laatikko oheislaitteeseen) on moottoriin nähden erillinen kokonaisuus. (Wärtsilä 2008)

SCR-laitteisto käyttää ureaa pakokaasun jälkikäsittelyprosessissa. Ureaa (40 painoprosenttia) kuluu noin 10 prosenttia polttoaineenkulutuksesta. Prosessissa syntynyt ammoniakki reagoi typenoksidien kanssa muodostaen typpeä (N₂) sekä vettä (Kaava 2.1).



Kaava 2.1 SCR menetelmän toimintaperiaate, kemiallinen kaava.

Suomalaisen laitetoimittajan mukaan laitteen perusrakenne voi kestää jopa koko laivan eliniän. Laitteiston asennus- ja käyttökustannukset ovat kuitenkin hyvin yksilöllisiä tapauksia, eikä tässä tutkimuksessa annettuja kustannusoletuksia voida käyttää yksittäistapauksissa. Menetelmän käyttö ei lisää polttoaineenkulutusta, eikä se aiheuta jätettä.

2.2 Kaasumoottorit ja nesteytetty maakaasu

Maakaasun käyttö polttoaineena on mahdollista moottoreissa, jotka ovat sitä varten suunniteltuja. Tier III -vaatimukset täyttyvät, koska NO_x-päästöt vähenevät jopa 98 prosenttia kyseisellä tekniikalla. Samalla rikkipäästöt loppuvat lähes kokonaan, sillä maakaasu ei sisällä rikkiä. Myös hiilidioksidipäästöt vähenevät arviolta 20–30 prosenttia. Maakaasun käytön lisäkustannusten arvioimista ei ole mahdollista tehdä tässä tutkimuksessa, koska riittävän tarkkoja polttoainekustannuslukuja ei ole saatavilla. Maakaasun jakelun infrastruktuuria Itämeren laivastolle ei myöskään vielä ole olemassa.

2.3 Muut NO_x-päästöjen vähennysmenetelmät

Keskustelu moottoreiden ja katalysaattoreiden valmistajien kanssa antaa kuitenkin ymmärtää, että uusia tekniikoita Tier III -tason saavuttamiseksi on tulossa markkinoille jo ennen vuotta 2016. Uudet tekniikat ovat kuitenkin vielä laboratoriotasolla, eikä kattavia kenttäkokeita ole tehty. Tästä syystä esimerkiksi tekniikoiden tehokkuus- ja kustannusarvioita ei ole pystytty tekemään riittävän tarkasti, jotta lisäkustannusarvioiden tekeminen olisi mahdollista. Nämä tekniikat (Taulukko 2.1) eivät välttämättä yksinään yllä vaadittavaan NO_x-päästöjen vähennystehokkuuteen, mutta niitä on mahdollista käyttää tiettyin ehdoin samanaikaisesti. Valmistajien haasteena onkin löytää kustannustehokkaimpia yhdistelmiä.

Taulukko 2.1 Muut potentiaaliset menetelmät NOx-päästöjen vähentämiseksi ja niiden vähennystehokkuudet yksinään käytettynä (Suomalainen laitetoimittaja 2010).

Tekniikka	NOx-päästöjen vähennystehokkuuspotentiaali nykyiseen (Tier I) tasoon verrattuna
High pressure turbocharger (TC) sys. (2-stage) <ul style="list-style-type: none"> Sarjaan kytketty kaksivaiheinen korkeapaineahdin 	-40 %
Low NOx combustion tuning <ul style="list-style-type: none"> Moottorin säätö ja optimointi NOx-päästöjen vähentämiseksi 	-10 %
EGR system <ul style="list-style-type: none"> Exhaust Gas Recirculation, pakokaasun takaisinsyöttö moottorin palotilaan 	-60 %
Charge air humidification <ul style="list-style-type: none"> Veden ohjaaminen palotilaan imuilman mukana 	-40 %
Water Fuel Emulsion <ul style="list-style-type: none"> Vesi-polttoaine-emulsio, vettä sekoitetaan polttoaineen joukkoon 	-25 %
Direct Water Injection <ul style="list-style-type: none"> Veden ruiskutus palotilaan 	-50 %

Toinen laitetoimittaja kertoi tuovansa markkinoille ennen vuotta 2016, katalysaattorin lisäksi, EGR-tekniikkaa hyödyntävän sovelluksen, joka yksinään tai yhdessä vesi-polttoaine-emulsion kanssa tulee täyttämään Tier III -vaatimukset. He eivät pysty vielä tekemään kustannusarviota järjestelmälle, koska kattavia kenttäkokeita ei ole tehty. Kenttäkokeet on tarkoitus aloittaa vuonna 2011.

3. Laitteiden investointi- ja käyttökustannukset

Investointikustannukset on arvioitu luomalla tulevaisuusskenaario laivojen konetehosta vuoteen 2040 asti. Tulevaisuusskenaariossa on arvioitu vuosittain uusien laivojen osuus, johon vuonna 2016 ja sen jälkeen oletetaan asennettavan SCR-laitteisto. Samaa periaatetta on käytetty myös Itämeren alueen laivastolle tehdyssä lisäkustannusarviossa (Kalli et al. 2010). Investointikustannusten arvioimisesta on tarkemmin kappaleessa 3.3.

SCR-laitteiston käyttökustannuksista suurin osa muodostuu urean kulutuksesta. Ureaa kuluu määrällisesti noin 10 prosenttia polttoaineen kulutuksen määrästä. SCR-laitteiston käyttökustannusten arviointi perustuu tässä selvityksessä polttoainekulutuksen arvioimiseen, johon on sidottu SCR-laitteiston ureakulutus ja muut käyttökustannukset. Myös polttoaineenkulutuksesta on tehty tulevaisuusskenaario vuoteen 2040 asti. Käyttökustannusten arviointiperiaate on sama kuin Kalli et al. 2010 menetelmä, mutta lisäyksenä on myös arvio tarkasteltavan laivajoukon polttoainekulutuksesta myös Pohjanmeren alueella.

Tulevaisuusskenaarioissa on käytetty lähdetietona "Shipping-induced NO_x and SO_x emissions – OPERational monitoring network" (SNOOP) -projektin¹ AIS-tietoa hyödyntävän STEAM-mallin (Jalkanen et al. 2009) tuloksia vuoden 2008 laivaliikenteestä Itämerellä. STEAM-mallin tuloksista on eritelty laivat (tarkemmin kappaleessa 3.1) ja niiden polttoaineenkulutukset sekä NO_x-päästömäärät.

STEAM-mallin tuloksista saadaan tarkasteltavien laivojen polttoaineenkulutus Itämeren alueella. Tämän lisäksi on arvioitu myös näiden laivojen polttoaineenkulutus Pohjanmerellä. Pohjanmeren alueen polttoaineenkulutusarvio perustuu Pohjanmerellä käyntimääriin ja keskimääräisiin käyttötunteihin kyseisellä alueella. Menetelmä on sama kuin "Lai-vapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015" -selvityksessä (Kalli et al. 2009), jossa tehtiin arvio SECA-alueen polttoaineenkulutuksesta Suomessa käyneille laivoille.

3.1 Tutkittavat laivajoukot

Investointi- ja käyttökustannukset SCR-tekniikalle on arvioitu kahdelle eri laivajoukolle:

- 1) Vuonna 2008 Suomessa käyneet laivat ja
- 2) Vuonna 2008 Suomessa käyneet Suomen lipun alla purjehtivat laivat.

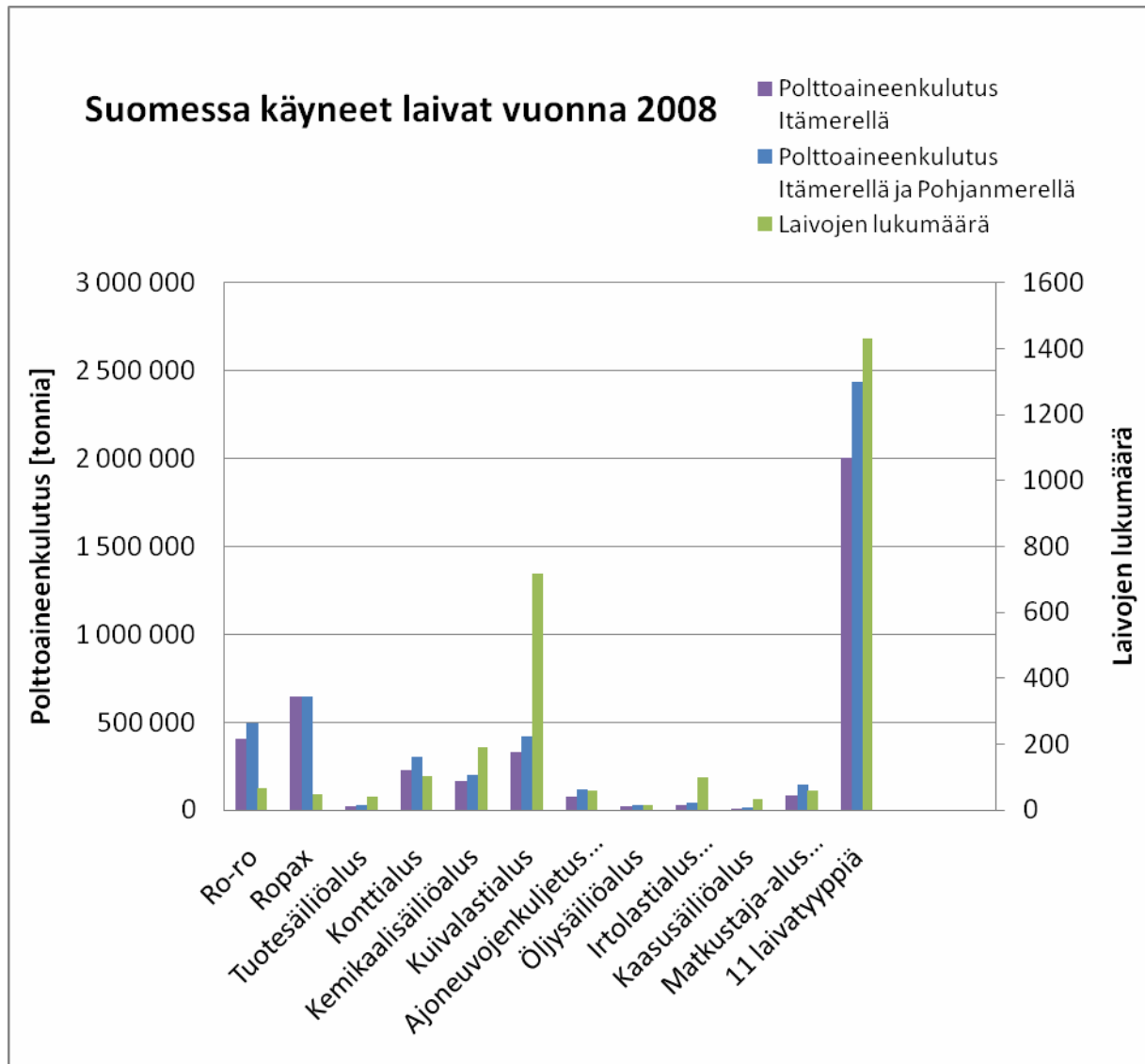
Nämä laivat on edelleen jaettu Lloydsin rekisterin määrittelemiin 11 laivatyyppiin. Laivatyyppit ovat vertailukelpoisia Baltic NECA – economic impacts -selvityksessä (Kalli et al. 2010) käytettyjen laivatyyppien kanssa lukuun ottamatta kylmälastialuksia, joita ei Suomessa käynyt yhtään kappaletta vuonna 2008.

1. Matkustaja-alus (risteilyalus)
2. Ro-ro-matkustaja-alus (ropax)
3. Ro-ro-lastialus (ro-ro)
4. Ajoneuvojenkuljetusalus
5. Konttialus
6. Irtolastialus (kuivabulk-alus)
7. Kuivalastialus
8. Öljysäiliöalus
9. Kaasusäiliöalus

¹ SNOOP-projekti on yhdeksän suomalaisen ja virolaisen organisaation yhteistyönä toteuttama hanke, jota rahoittavat Central Baltic INTERREG IV A Programme 2007–2013 ja Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

10. Kemikaalisäiliöalus
11. Tuotesäiliöalus

Suomessa vuonna 2008 käyneiden alusten määrä (alukset jotka kuuluvat yllä mainittuihin luokkiin) ja niiden arvioitu polttoaineenkulutus Itämerellä sekä Itämerellä ja Pohjanmerellä on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1 Tulevaisuusskenaarioiden lähdetietona käytetään 2008 vuoden polttoaineenkulutusta Suomessa käyneille laivoille. Kuvassa on esitetty polttoaineenkulutuservio Itämerellä, Itämerellä ja Pohjanmerellä yhteensä sekä laivojen lukumäärä.

3.2 Tutkittava alue

Tässä tutkimuksessa on laskettu lisäkustannuservio, tulevaisuusskenaarioiden muodossa vuoteen 2040 asti, seuraavissa tapauksissa:

1. Tulevaisuusskenaario pohjautuen Suomessa (2008) käyneille laivoille silloin, kun perustetaan NOx-päästöjen valvonta-alue Itämerelle ja Pohjanmerelle.
2. Tulevaisuusskenaario pohjautuen Suomessa (2008) käyneille laivoille silloin, kun perustetaan NOx-päästöjen valvonta-alue vain Itämerelle.
3. Tulevaisuusskenaario pohjautuen Suomessa (2008) käyneille suomalaisille laivoille silloin, kun perustetaan NOx-päästöjen valvonta-alue Itämerelle ja Pohjanmerelle.

Kuvasta 3.1 nähdään, että Pohjanmerellä kulutettu polttoainemäärä on pieni verrattuna Itämeren alueen polttoaineenkulutukseen (Suomessa käyneet laivat). Näin ollen voidaan päätellä, että jos pelkästään Itämeri nimetään NOx-päästöjen valvonta-alueeksi, ei lisäkustannuksiin tule merkittävää muutosta. Vaikutuksen suuruus on kuitenkin laivatyyppi-kohtainen ja erityisesti laivakohtainen. Investointikustannuksiin aluemäärittelyllä ei ole vaikutusta tässä tutkimuksessa käytetyllä menetelmällä laskettaessa.

3.3 Investointikustannukset

Investointikustannusten arvioimiseksi luotiin laskentamalli, joka arvioi, vuosittain, uusien laivojen konetehon (pää- ja apukoneet) vuoteen 2040 asti. Skenaarioita investointikustannusten arvioimiseksi luotiin kaksi. Molemmissa skenaarioissa on käytetty SCR-laitteiston hankintahintana 50 euroa/kilowatti. Skenaarioiden laskentaperiaate on sama kuin Baltic NECA – economic impacts -tutkimuksessa (Kalli et al. 2010) ja siten tulokset ovat keskenään verrattavissa.

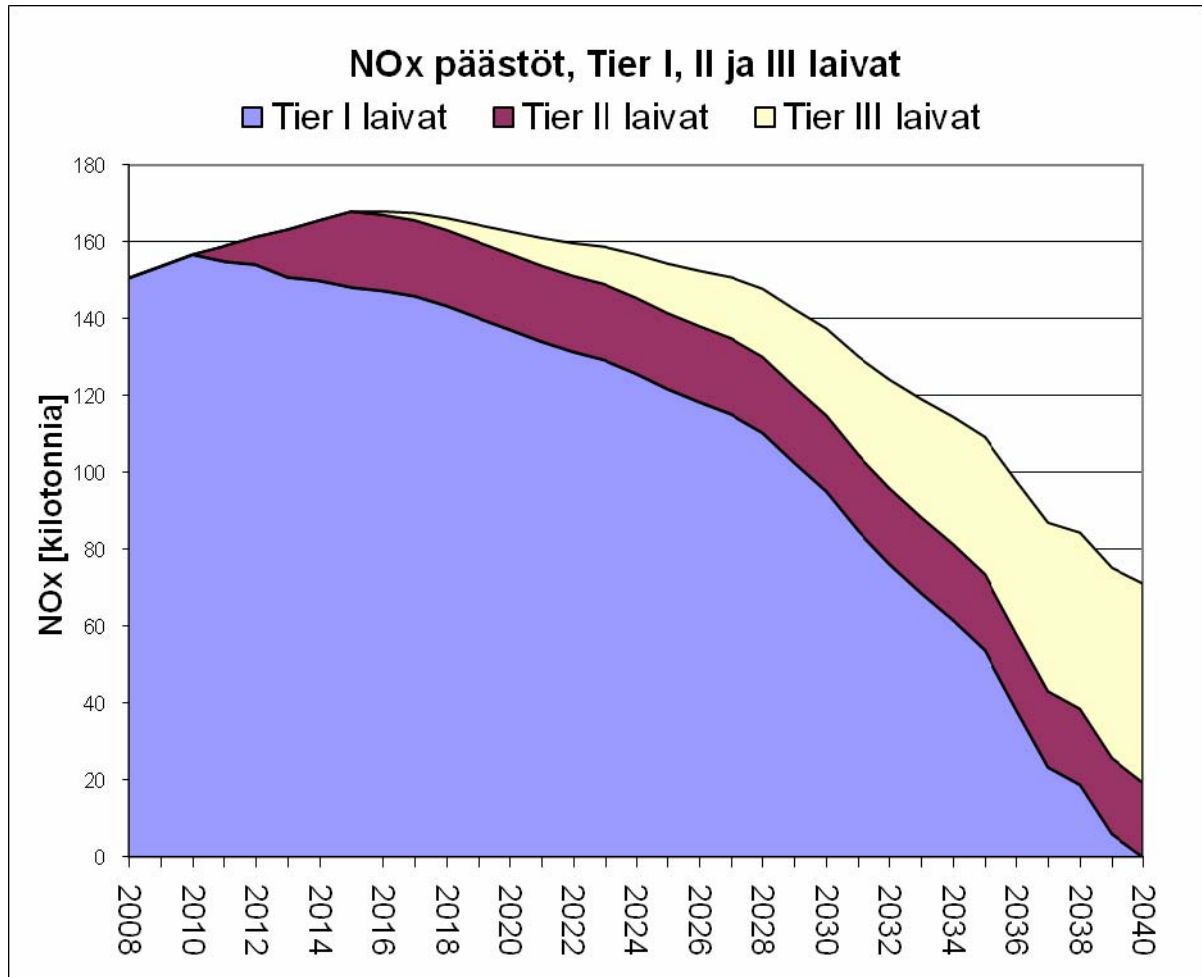
- Skenaariossa 1 vuonna 2016 ja sen jälkeen tulevaisuusskenaarion osoittama uusi konetehto oletetaan varustettavan SCR-laitteistolla.
- Skenaariossa 2 kuvataan tilannetta, jossa vuoden 2016 jälkeen syntyisi ”NECA-erikoistuneita” laivoja, jotka korvaisivat suuremmalla NECA-alueen liikennemäärällä osan muiden laivojen liikennemäärästä. Tämä tehtiin laskemalla vuoden 2008 lähdetiedosta kullekin laivatyyppille konetehon osuus, joka vastaa 95 prosenttia Itämeren alueen NOx-päästöjen määrästä. Toisin sanoen menetelmä rajaa kustannusarvion ulkopuolelle laivat, jotka vain harvoin vierailevat Itämerellä. Huomioitu konetehtosuus, johon SCR-laitteisto oletetaan asennettavan, näkyy taulukosta 3.2.

SCR-laitteiston investointikustannus on jaettu annuiteettimenetelmällä 25 vuoden ajalle. Korkokantana on käytetty 5 prosenttia ja laitteen jäännösarvo on nolla. Muita oletuksia ovat 2 prosentin vuosittainen liikenteen kasvu sekä 30 vuoden aluksen elinikä kaikille laivatyypeille. Laskenta olettaa, että joka vuosi uusi moottoriteho koostuu liikenteen kasvusta ja laivojen uusiutumisesta. Suomalaisen laitetoimittajan arvio laitteiston eliniästä on 15–25 vuotta.

Tulevaisuusskenaariot huomioivat laivojen uusiutumisen. Oletuksena on laivojen 30 vuoden elinikä kaikissa laivatyypeissä. Laivojen uusiutumisesta johtuva vuosittainen uuden konetehon määrä, johon SCR-laitteisto oletetaan asennettavan, on huomattava. Lähdetietona käytetään AIS-informaatiota ja Liikenneviraston luovuttamaa satamakäyntiaineistoa vuodelta 2008 ja siten skenaariot perustuvat todellisiin laivoihin. Toisin sanoen tulevaisuusskenaarioissa todelliset laivat täytettyään 30 vuotta pudotetaan pois laivastosta ja korvataan uusilla laivoilla, joissa on sama määrä uutta konetehtoa.

Todellisuudessa sekä liikenteen kasvu että laivojen uusiutuminen voivat olla osittain myös vanhoja laivoja, joten tässä tutkimuksessa käytetty laskentatapa saattaa yliarvioida uuden konetehon määrän, johon SCR-laitteisto oletetaan asennettavan. Jos NOx-päästöjen valvonta-alueet yleistyvät maailmalla, vähentää se saatavilla olevien Tier I ja Tier II -laivojen määrää ja laivakanta uudistuu nopeammin. Näiden laivojen yleistyminen

Itämerellä saattaa kuitenkin vain hieman hidastuttaa NOx-päästöjen vähenemistä ensimmäisten vuosien aikana vuoden 2016 jälkeen. Lopulta laivaston uusiutuminen kuitenkin nopeutuu ja vuoden 2040 aikoihin Tier I -laivat olisivat uusiutuneet jo lähes kokonaan ja Tier II -laivojen lukumäärä vähentynyt merkittävästi (Kuvassa 3.2 oletetaan, ettei erikoistuneita laivoja synny).



Kuva 3.2 Suomessa käyneiden Tier I, II ja III -laivojen NOx-päästöjen määrä Itämerellä olettaen, että vuosittainen liikenteen kasvu on 2 prosenttia ja laivojen elinikä 30 vuotta.

Taulukossa 3.1 on koottuna eri lähteiden arvioita SCR-laitteiston investointikustannuksista. Investointikustannus on hyvin yksilöllinen ja aina tapauskohtainen. Jos aluksella on tarkoitus käyttää samanaikaisesti rikkipesuria, nostaa se SCR-laitteiston investointikustannusta, jotta laitteisto toimisi myös korkeammalla polttoaineen rikkipitoisuudella. Suomalaisen laitetoimittajan antamien arvioiden perusteella olemme valinneet investointikustannukseksi 50 euroa per kilowatti kaikille moottori- ja alustyypeille.

Taulukko 3.1 Investointikustannuksia SCR-laitteelle eri lähteistä.

	Tekniikka		Kustannusarvioita eri lähteistä	
			MEPC 59/6/5 USA Kanada ECA hakemus	Suomalaisen laitevalmistajan arvio SCR- tekniikan kustannuksista
	Moottorin kierros- nopeus	Moottorin koko (kW)	€/kW	€/kW
SCR- laitekustannukset	Keskinopea	4 500–18 000	32–64	29–70 (tislatuille poltto- aineille < 1 % S) uudis- rakennuksille
	Hidas	8 500–48 000	36–59	36–59 (tislatuille polttoaineille < 1 % S) uudisraken- nuksille
SCR- laitekustannukset silloin, kun rikki- pesuri on saman- aikaisesti käytössä	Keskinopea	4 500–18 000	ei saatavilla	40–78 (3,5 % S asti)
	Hidas	8 500–48 000	ei saatavilla	47–78 (3,5 % S asti)

Valuuttakurssi: 1 EUR = 1,2894 USD (keskiarvo elokuussa 2010)

3.4 Käyttökustannukset

SCR-laitteiston käyttökustannuksista suurin osuus koostuu urean kulutuksesta. Suomalaisen laitetoimittajan mukaan katalysaattorin elementtejä voidaan vaihtaa tarpeen mukaan, eikä täydellistä uudelleenrakentamista siten tarvita. Yksittäisiä elementtejä vaihdetaan vain, jos niiden aktiivisuus jää alle määritetyn tason. Vaihtotiheys riippuu käyttö-
tunneista, polttoainelaadusta, elementin tyypistä ja prosessin kontrolloinnista. Katalysaattori vaatii puhdistusta, joka riippuu polttoaineen laadusta. Automaattisella paineilmapuhalluksella (noin kerran tunnissa) voidaan katalysaattorin kennostoa puhdistaa. Kerran vuodessa järjestelmä voidaan tarkastaa visuaalisesti ja puhdistaa käsin (yksi henkilötyöpäivä vuodessa).

Urean arvo (40 painoprosenttia) laivalle toimitettuna (Tukholmassa, Fred Holmberg & Co.) oli 150 euroa tonnilta elokuussa 2010. Suomalaisen laitetoimittajan antaman arvion mukaan ureaa kuluu noin 10 prosenttia polttoaineen kulutuksesta. Käyttökustannusten arvioinnissa on käytetty oletusta, jonka mukaan ureakustannus olisi 80 prosenttia SCR-laitteiston kokonaiskäyttökustannuksista. Tällä menetelmällä SCR-laitteiston käyttökustannusarvio voidaan suoraan johtaa laivan polttoaineenkulutuserviöstä. SCR-laitteiston käyttökustannusten ja polttoainekustannusten välillä ei ole yhteyttä tässä tutkimuksessa tehdyssä lisäkustannusarviossa.

Polttoaineenkulutus on arvioitu erikseen jokaiselle laivalle Itämeren ja Pohjanmeren alueella. HELCOM AIS -tilastopalvelimen tietoa hyödyntäen on mahdollista selvittää laivat, jotka ovat vuonna 2008 käyneet Pohjanmeren alueella. Laivojen, jotka ovat pysyneet koko vuoden Itämerellä, polttoaineenkulutus tulee suoraan SNOOP-projektin laskentatiedoista. Kaikkien laivojen polttoaineenkulutus on laskentamallissa arvioitu siten, että huomioon otettaisiin vain Suomeen liittyvät liikennesuoritteet. Oletuksena on, että laivojen, joiden käyntikerrat Suomessa ylittävät 30 vuonna 2008, polttoaineenkulutus huomioidaan kokonaisuudessaan ($K=1$). Kaavan 1 osoittamalla tavalla lasketaan laivakohtainen muunnoskerroin K , kun Suomessa käyntimäärä jää alle 30:n ($K<1$).

Kaava 1: $K = \text{Suomessa käyntien määrä} * \frac{P_{\text{kok}} * 0,8 * S * t_{\text{Itämerellä}}}{Kulutus_{\text{Itämerellä}}}$

Jossa:

K = muunnoskerroin, jolla lasketaan Suomelle merkityksellinen kokonaispolttoainekulutuksen osuus kyseiselle laivalle

P_{kok} = laivaan asennettu kokonaiskoneteho

S = kulutuskerroin 180 g/kWh

$t_{\text{Itämerellä}}$ = aika jonka alus tarvitsee tullessaan Tanskan salmesta Suomen satamaan ja takaisin

$Kulutus_{\text{Itämerellä}}$ = ShipNODEp-hankkeen laskema kulutus tietylle laivalle Itämeren alueella vuonna 2007

Muunnoskerrointa käytetään kaavassa 2 kokonaispolttoaineenkulutuksen arvioimiseen. Menetelmä on sama kuin rikkiselvityksessä (Kalli et al. 2009). Polttoaineenkulutuksen muuntaminen näissä erityistapauksissa (käytännössä siis SCR-laitteiston käyttökustannusten muuntaminen) on tarpeellista, jotta niitä laivoja, joiden liikenne kohdistuu huomattavin osin muihin Itämeren maihin kuin Suomeen, ei huomioitaisi kokonaisuudessaan Suomeen liittyväksi liikenteeksi. Investointikustannuksia ei pidä muuntaa, koska huolimatta laivan liikenteen kohdistumisesta Suomen ja muiden Itämeren maiden välillä, on SCR-laitteiston investointi uusiin laivoihin pakollinen vuonna 2016 ja sen jälkeen.

Kaava 2:

Laivan X Suomen liikenteeseen liittyvän polttoaineen osuus

$$K * (Kulutus_{\text{Itämerellä}} + Kulutus_{\text{Pohjanmerellä}})$$

Kaava 3:

$$Kulutus_{\text{Pohjanmerellä}} = \text{Pohjanmerellä käyntien määrä} * P_{\text{kok}} * 0,8 * S * t_{\text{Pohjanmerellä}}$$

Pohjanmerellä käyntien määrä on rajoitettu siten, että se ei voi olla suurempi kuin Suomessa käyntien määrä

Taulukossa 3.2 on esitetty polttoaineenkulutusarviot Suomessa käyneille laivoille ja Suomessa käyneille Suomen lipun alla purjehtiville laivoille vuonna 2008. Polttoaineenkulutus verrattuna vastaaviin 2007 vuoden arvoihin on noussut noin 15 prosenttia.

Taulukko 3.2 Alustyytit ja arvio polttoaineenkulutuksesta vuonna 2008.

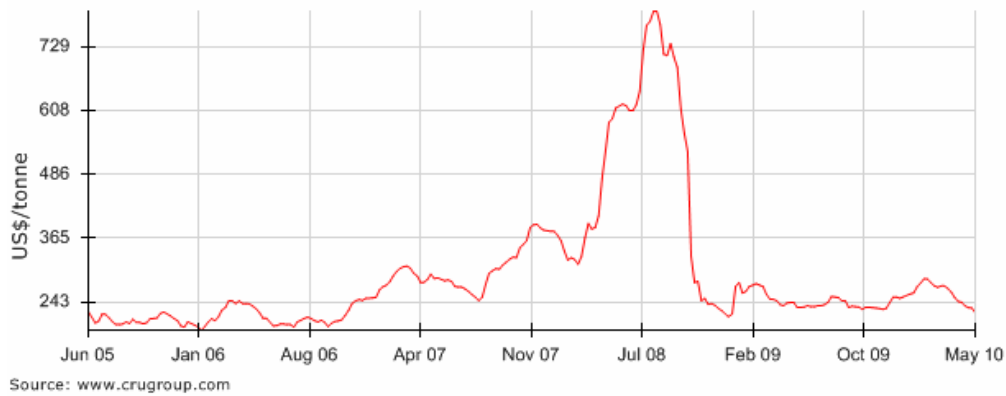
Alustyyppi	Suomessa käyneet laivat (2008)				Suomessa käyneet suomalaiset laivat (2008)		Skenaario 2, konetehon osuus, johon SCR oletettu asennettavan
	kpl	Polttoaineenkulutus [tonnia]			kpl	Polttoaineenkulutus [tonnia]	
		Itämerellä	Itämerellä ja Pohjanmerellä	Pohjanmerellä		Itämerellä ja Pohjanmerellä	
Matkustaja-alus (risteilyalus)	57	80 443	145 107	64 664	2	10 982	74 %
Ropax	49	642 090	642 768	678	14	265 475	83 %
Ro-ro	66	404 129	496 032	91 903	21	171 869	97 %
Ajoneuvojen-kuljetusalus	59	72 494	115 694	43 200	0	0	50 %
Konttialus	101	228 915	301 138	72 223	2	13 401	81 %
Irtolastialus (kuivabulk-alus)	99	28 883	42 874	13 991	3	9 597	76 %
Kuivalastialus	719	331 716	419 228	87 512	27	60 214	80 %
Öljysäiliöalus	16	22 778	30 659	7 881	2	21 542	93 %
Kaasusäiliöalus	33	8 094	13 038	4 944	0	0	77 %
Kemikaalisäiliöalus	190	163 084	201 333	38 249	6	39 195	73 %
Tuotesäiliöalus	41	20 187	27 891	7 704	3	11 369	65 %
Muut	46				12		
11 laivatyyppiä	1 430	2 002 813	2 435 762	432 949	80	603 645	
Tunnistetut yhteensä 2007, keskimääräinen (asiantuntija-arvio) (Kalli et al. 2008)	1 437		2 115 570	273 685	108	500 789	

SCR-laitteiston eri lähteistä koottuja käyttökustannuslukuja on koottu taulukkoon 3.3.

Taulukko 3.3 Eri lähteistä saatuja SCR-laitteiston käyttökustannuslukuja

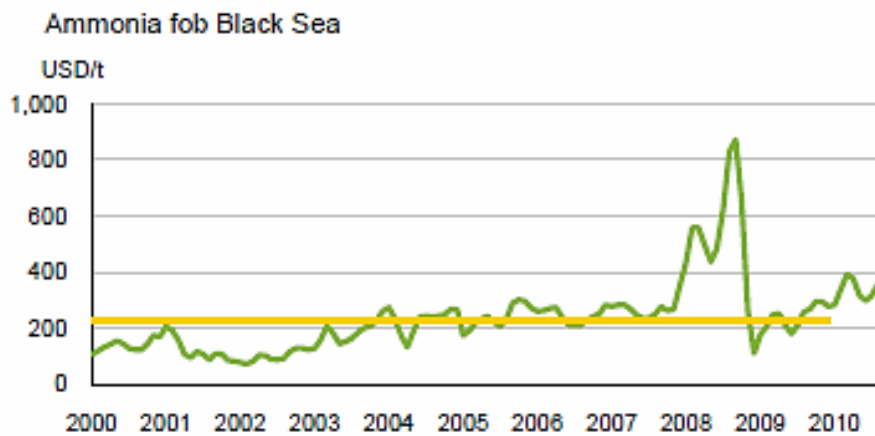
Tekniikka	Kustannusarvioita eri lähteistä		
Käyttökustannukset	MEPC 59/6/5 USA Kanada ECA hakemus	ENTEC 2005	Suomalaisen laitevalmistajan arvio käyttökustannuksista
Ureakustannus	1,18 €/gallona (32,5 painoprosenttia) 1 gallona 3,785 litraa →0,312€/litra	170 €/tonni ureaa	150 €/ tonni ureaa (40 painoprosenttia) Hinta elokuussa 2010, laivalle toimitettuna, Tukholmassa, Fred Holmberg & Co.
Urean annostelu polttoaineenkulutukseen verrattuna	7.5 % polttoaineenkulutuksesta	Ei saatavilla	Noin 10 % polttoainekulutuksesta (tyypillinen urean kustannus on noin 4–6 €/MWh)
SCR-laitteiston elinikä	Ei saatavilla	12,5 vuotta	15–25 vuotta
SCR-laitteiston uudelleenrakentaminen	Ei saatavilla	Vähärikkisille polttoaineille EU-standardin mukaan (1-1,5 % S), uudelleenrakentaminen joka viides vuosi.	0,25–0,75 €/MWh Tyypillinen arvo katalysaattorin elementtien vaihtamiselle. Vaihtamistarve riippuu käyttötunneista ja polttoainelaadusta ym.
SCR-laitteiston uudelleenrakentamisen kustannus	Ei saatavilla	Noin 60 % SCR-laitteiston investointikustannuksista	Prosentuaalista arviota ei voida antaa, jokainen uudelleenrakentamisprojekti on erilainen.
SCR-laitteiston puhdistaminen	Ei saatavilla	6 kertaa 1 000 tunnin käytön välein	Automaattinen paineilmapuhdistus kerran tunnissa. Visuaalinen tarkastus kerran vuodessa.
Puhdistukseen liittyvät kustannukset	Ei saatavilla	150 € (4–6 henkilötyötuntia)	1 työpäivä kerran vuodessa (Automaattinen paineilmapuhdistus)
Keskimääräinen käyttökustannus	Ei saatavilla	2,55 €/MWh	5–7,5 €/MWh

Urean hinta viimeisen kymmenen vuoden ajalta on esitetty kuvassa 3.3. Ureaa valmistetaan ammoniakista, jonka raaka-aineena on maakaasu ja siten urean hinta kytkeytyy energiamarkkinoihin. Urean hinta kytkeytyy myös maatalouteen ja viljan hintaan, koska ureaa (ja ammoniakkia) käytetään laajalti lannoiteteollisuudessa. Vuonna 2008 urean hinta nousi poikkeuksellisen korkeaksi johtuen vahvasta lannoitevalmistuksen kasvusta sekä monesta muusta yksittäisestä tekijästä ja sen hetkisestä markkinoiden epävarmuudesta. Vuoden 2009 aikana urean hinta jälleen laski jyrkästi, koska ammoniakkin kysyntä teollisuudessa ja lannoiteteuotannossa väheni.



Kuva 3.3 Urean (100 painoprosenttia) hinta kesäkuu 2005 – toukokuu 2010

Urean hinta seuraa melko tiiviisti ammoniakin hinnan muutoksia. Ammoniakin hinta kuukausittaisina keskiarvoina on esitetty kuvassa 3.4.



Kuva 3.4 Ammoniakin hinta 2000–2010.

4. Investointi- ja käyttökustannustulokset

Tässä luvussa esitetään tutkimuksen tulokset. Tier III -vaatimusten aiheuttamat lisäkustannukset ovat arvioitu vuoteen 2040 asti SCR-tekniikkaan perustuen. Skenaarioita on kaksi (skenaarioiden kuvaukset kappaleessa 3.3) ja ne ovat laskettu alla kuvatuissa tilanteissa:

1. Tulevaisuusskenaario pohjautuen Suomessa (2008) käyneille laivoille silloin, kun perustetaan NOx-päästöjen valvonta-alue Itämerelle ja Pohjanmerelle,
2. Tulevaisuusskenaario pohjautuen Suomessa (2008) käyneille laivoille silloin, kun perustetaan NOx-päästöjen valvonta-alue vain Itämerelle ja
3. Tulevaisuusskenaario pohjautuen Suomessa (2008) käyneille suomalaisille laivoille silloin, kun perustetaan NOx-päästöjen valvonta-alue Itämerelle ja Pohjanmerelle.

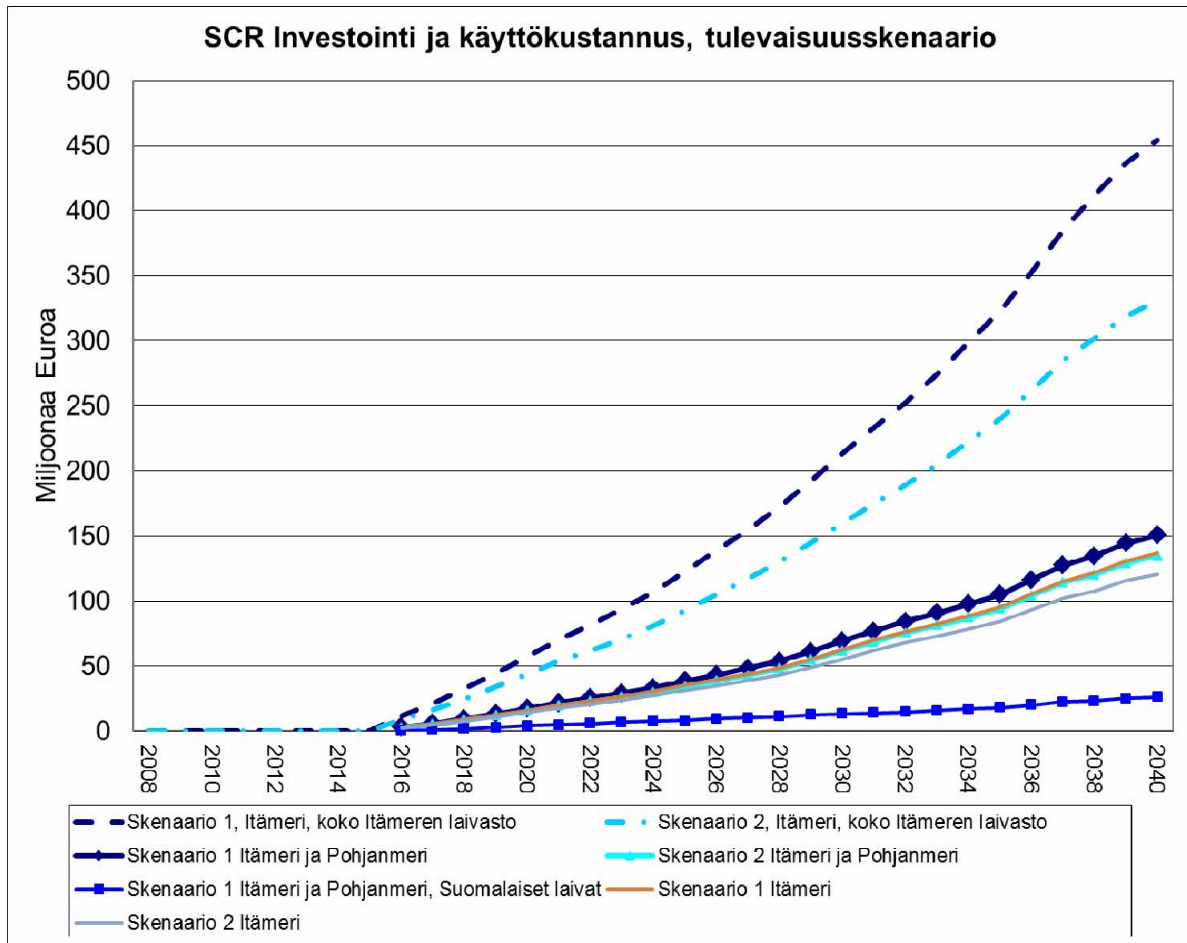
Taulukossa 4.1 on esitetty esimerkkejä SCR-laitteiston osuudesta aluksen kokonaishankintahintaan. Esimerkit ovat laskettu tyypilliselle Itämerellä purjehtivalle säiliöalukselle, ro-ro-lastialukselle ja ro-ro-matkustaja-alukselle käyttäen SCR-laitteiston hankintahintana 50 €/kW.

Taulukko 4.1 Uuden säiliöaluksen, ro-ro-aluksen ja ropax-aluksen hankintahinnat tietyissä kokoluokissa ja SCR-laitteiston vaikutus hankintahintaan. SCR:n investointikustannukseksi on arvioitu 50 €/kW.

Alustyyppi	Koko (DWT)	kW (pääkone + apukoneet)	Hankintahinta (€)	Hankintahinta, kun alus on varustettu SCR-laitteistolla (€)	SCR-laitteiston vaikutus hankintahintaan
Säiliöalus	60 700	12 000 + 1 400	37 000 000	37 670 000	1,8 %
Ro-ro	10 500	18 900 + 2 000	40 000 000	41 045 000	2,6 %
Ropax	9 700	48 000 + 3 600	100 000 000	102 580 000	2,6 %

4.1 Investointi- ja käyttökustannukset

Investointi- ja käyttökustannukset on arvioitu laivatyypeittäin (11 laivatyyppiä). Kuvassa 4.1 on esitetty yhteenlaskettu lisäkustannusarvio kaikille Itämerellä purjehtiville laivoille (Kalli et al. 2010) verrattuna tämän tutkimuksen Suomessa käyviin laivoihin sekä Suomessa käyviin Suomen lipun alla purjehtiviin laivoihin. Suomessa käyneille laivoille laivatyyppikohtaiset tulokset löytyvät liitteestä 2 sekä taulukoista 4.3 ja 4.4.



Kuva 4.1 Tier III -lisäkustannus vuosittain (oletuksena on, että alusliikenne kasvaa 2 % vuosittain, joten käyrät eivät siis esitä kokonaiskustannusten nousua nykyisiin liikennemääriin ja liikennöintikustannuksiin nähden). Skenaariot 1 ja 2 on esitetty eri laivajoukoille ja alueille. Katkoviivalla kuvatut kustannukset ovat koko Itämeren laivastolle silloin, kun vain Itämerestä tulee NOx-päästöjen valvonta-alue (Lähde: Kalli et al. 2010). Toiset kuvaajat perustuvat Suomessa 2008 käyneille laivoille sekä Suomessa 2008 käyneille suomalaisille laivoille.

Skenaario 2:ssa kokonaisinvestointikustannukset ovat pienemmät kuin skenaario 1:ssä, mutta se johtaa siihen, että Itämeren liikenteessä on käytettävissä aikaisempaa pienempi lukumäärä aluksia (ns. "NECA-erikoistuneet" laivat). Rahdinantajien näkökulmasta tämä ei välttämättä ole hyvä asia, sillä seurauksena voi olla kilpailun vähenemiseen rahdimarkkinoilla, jolloin rahtihinnat saattavat nousta skenaario 2:ssa skenaario 1:ä suuremmiksi.

Taulukossa 4.2 on esitetty lisäkustannuksia eri vuosille vertailun helpottamiseksi. HELCOM-skenaariot 1 ja 2 ovat tuloksia Baltic NECA – economic impacts -tutkimuksesta (Kalli et al. 2010). Taulukosta nähdään, että jos Itämeri yksinään nimitetään NOx-päästöjen valvonta-alueeksi, putoavat lisäkustannukset noin 10 prosenttia, koska tällöin SCR-laitteistoa ei olisi pakko käyttää Pohjanmerellä.

Taulukko 4.2 Kokonaislisäkustannusarvio per vuosi 2020, 2030 ja 2040 eri skenaarioissa.

Skenaario	Vuosi		
	2020	2030	2040
HELCOM Skenaario 1	57 milj. €	213 milj. €	454 milj. €
HELCOM Skenaario 2	43 milj. €	160 milj. €	331 milj. €
Suomessa käyneet laivat, Skenaario 1, Itämeri + Pohjanmeri NECA	17 milj. €	69 milj. €	150 milj. €
Suomessa käyneet laivat, Skenaario 2, Itämeri + Pohjanmeri NECA	15 milj. €	62 milj. €	135 milj. €
Suomessa käyneet laivat, Skenaario 1, Itämeri NECA	16 milj. €	63 milj. €	136 milj. €
Suomessa käyneet laivat, Skenaario 2, Itämeri NECA	14 milj. €	55 milj. €	121 milj. €
Suomessa käyneet suomalaiset laivat, Skenaario 1, Itämeri + Pohjanmeri NECA	4 milj. €	13 milj. €	26 milj. €

4.2 Alustyyppikohtaiset lisäkustannukset

Jokaiselle tutkitulle alustyyppille on arvioitu vuosittainen lisäkustannus vuoteen 2040 asti. Kuvaajat ovat liitteessä 2. Seuraavaan taulukkoon 4.3 on koottu laivatyyppikohtaisia kustannusarvioita vuosina 2020, 2030 ja 2040, jos Itämeri ja Pohjanmeri molemmat nimitetään NOx-päästöjen valvonta-alueiksi.

Taulukko 4.3 Arvioidut alustyyppikohtaiset lisäkustannukset (miljoonaa euroa) vuonna 2020, 2030 ja 2040, jos Itämeri ja Pohjanmeri molemmat ovat NOx-päästöjen valvonta-alueita.

Alustyyppi	Lisäkustannus [miljoonaa euroa] Itämeri + Pohjanmeri NECA					
	Skenaario 1, 2020	Skenaario 2, 2020	Skenaario 1, 2030	Skenaario 2, 2030	Skenaario 1, 2040	Skenaario 2, 2040
Matkustaja-alus (risteilyalus)	2,0	1,6	7,0	5,7	16,1	13,2
Ro-ro-matkustaja-alus (ropax)	4,6	4,4	13,8	13,1	29,4	27,9
Ro-ro-lastialus (ro-ro)	2,4	2,3	9,8	9,7	23,1	22,9
Ajoneuvojenkuljetusalus	0,9	0,6	3,8	2,7	8,1	5,8
Konttialus	1,1	1,1	5,6	5,1	16,5	15,3
Irtolastialus (kuivabulk-alus)	0,7	0,6	2,9	2,3	6,1	5,0
Kuivalastialus	3,5	3,1	15,8	14,1	28,2	25,3
Öljysäiliöalus	0,2	0,2	1,5	1,4	2,7	2,6
Kaasusäiliöalus	0,2	0,1	1,1	0,9	1,7	1,4
Kemikaalisäiliöalus	1,3	1,1	6,8	5,8	15,3	12,9
Tuotesäiliöalus	0,5	0,4	1,3	1,0	3,3	2,5

Alustyyppikohtaisia eroja syntyy lisäkustannuksissa riippuen NOx-päästöjen valvonta-alueen laajuudesta. Taulukossa 4.4 on esitetty alustyyppikohtaiset lisäkustannukset vuosina 2020, 2030 ja 2040, jos vain Itämeri nimetään valvonta-alueeksi. Erot verrattuna taulukko 4.3:n tuloksiin johtuvat käyttökustannuksen muutoksesta. Laskennassa oletetaan, että SCR-laitteistoa käytetään vain NOx-päästöjen valvonta-alueen sisällä.

Taulukko 4.4 Alustyyppikohtaiset lisäkustannukset (miljoonaa euroa) vuonna 2020, 2030 ja 2040, jos vain Itämeri on NOx-päästöjen valvonta-alue.

Alustyyppi	Lisäkustannus [miljoonaa euroa] Itämeri NECA					
	Skenaa- rio 1, 2020	Skenaa- rio 2, 2020	Skenaa- rio 1, 2030	Skenaa- rio 2, 2030	Skenaa- rio 1, 2040	Skenaa- rio 2, 2040
Matkustaja-alus (risteilyalus)	1,8	1,4	6,3	5,0	14,0	11,1
Ro-ro-matkustaja-alus (ropax)	4,6	4,4	13,8	13,1	29,3	27,8
Ro-ro-lastialus (ro-ro)	2,1	2,1	8,1	8,0	20,0	19,8
Ajoneuvojenkuljetusalus	0,7	0,5	3,2	2,1	6,8	4,5
Konttialus	1,0	0,9	4,7	4,3	14,1	12,9
Irtolastialus (kuivabulk-alus)	0,7	0,5	2,7	2,1	5,6	4,5
Kuivalastialus	3,1	2,8	14,1	12,4	25,3	22,4
Öljysäiliöalus	0,2	0,2	1,4	1,3	2,5	2,4
Kaasusäiliöalus	0,1	0,1	1,0	0,8	1,6	1,3
Kemikaalisäiliöalus	1,2	1,0	6,3	5,2	14,1	11,7
Tuotesäiliöalus	0,4	0,3	1,2	0,9	3,0	2,2

5. SCR-laitteiston vaikutus alustyyppien päiväkustannusrakenteisiin

Kuvassa 5.1 esitetään Aluskustannukset 2009 -selvitykseen² perustuen Suomen ja ulkomaiden välisessä liikenteessä liikennöivien alusten päiväkustannusrakenne alustyypeittäin vuonna 2009. Alustyyppit on jaettu kuuteen: konttialuksiin³, kuivalastialuksiin, irtolasti- eli kuivabulk-aluksiin, säiliöaluksiin, ro-ro-aluksiin sekä matkustaja-autolauttoihin. Kustannusten suhteellinen osuus vaihtelee jonkin verran alustyyppin ja -koon mukaan. Kuvassa esitettävissä vertailuissa on käytetty syväysluokkien (alukset on jaettu syväyksensä perusteella alustyyppistä riippuen 6–11 kokoluokkaan) keskiarvoa⁴.

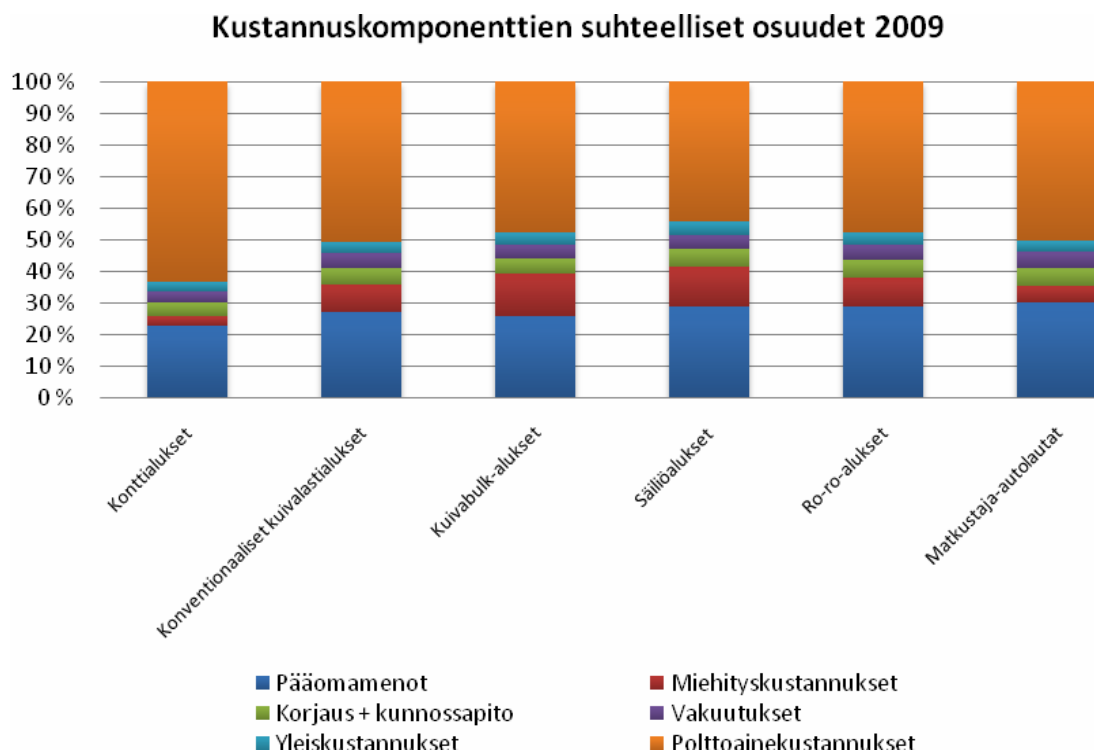
Muutokset yksittäisissä kustannuskomponenteissa vaikuttavat aluskustannusten suhteellisiin osuuksiin. Polttoainekustannukset muodostavat nykyisellä tasolla erittäin merkittävän osan alusten päiväkustannuksista. Kun MARPOL-yleissopimuksen Tier III -tyyppipäästörajoitukset tulevat voimaan vuoden 2016 alussa, typpioksidien poistoon tarvittava urea aiheuttaa käyttökustannuksia. Urean hinta ei ole riippuvainen polttoaineen hinnasta, mutta urean kulutus on riippuvainen polttoaineenkulutuksesta. Ureaa kuluu noin 10 prosenttia polttoaineenkulutukseen verrattuna eli tuhatta polttoainelitraa kohti ureaa kuluu sata litraa.

Tässä tutkimuksessa kustannuslaskelmien perusteena on nykyinen eli vuoden 2009 selvitykseen perustuva kustannusrakenne. Aluskustannusten polttoainekustannuslaskelmat perustuvat aluksen konetehon perusteella yleistettyyn polttoaineenkulutukseen. Todellisuudessa samankin konetehon alukset voivat kuitenkin kuluttaa hyvin erilaisen määrän polttoainetta. Esimerkiksi alusten nopeudet vaikuttavat merkittävästi polttoaineen kuluutukseen; alhaisilla nopeuksilla polttoainekustannukset ovat pienemmät. Vaikka nopeutta laskemalla voitaisiin saada merkittäviäkin kustannussäästöjä polttoainekuluissa, nopeuden alentaminen ei etenäkään tarkkaan aikataulutetussa linjaliikenteessä aina ole mahdollista.

² Ulkomaalaisten alusten päiväkustannusrakenne on arvioitu selvityksessä (Karvonen et al. 2009) painottamalla merkittävimpiä Suomen satamissa käyvien alusten lippuvaltioita.

³ Konttialusten osalta on huomioitava, että laskelman perusteena on käytetty otosaineistoa, jossa on mukana myös suuria konttialuksia, jotka eivät liikennöi Suomen satamiin. Suomen liikenteessä tyypillisten syöttöliikenteen konttialusten (feeder-alusten), polttoainekustannusten osuus ei ole näin suuri, vaan lähempänä konventionaalisten kuivalastialusten kustannuksia.

⁴ Koska laskelmissa ei ole käytetty painotettua keskiarvoa, luvut eivät kuvaa keskiarvoalusta vaan syväysluokkien keskiarvoa.



Kuva 5.1 Kustannusten jakaantuminen eri alustyypeittäin Suomen ja ulkomaiden välisessä liikenteessä sekä Suomen että ulkomaan lipun alla kulkevilla aluksilla keskimäärin vuonna 2009. Matkustaja-autolautoilla hotelli- ja ravintolahenkilökuntaa ei ole laskettu mukaan.

Uusiin aluksiin asennettava SCR-laitteisto lisää alusten päiväkustannuksia keskimäärin 3,4 prosenttia verrattuna kustannusrakenteeseen vuonna 2010 (Taulukko 5.1). Suhteellisesti eniten kasvaa luokan "polttoainekustannukset" osuus, johon on sisällytetty ureasta johtuva kustannuslisä. Urean käyttökustannukset on suhteutettu tähän luokkaan, vaikka urea ei ole varsinaisesti polttoaine, koska urean arvioitu kulutus on 10 prosenttia polttoaineenkulutuksesta. SCR-laitteisto ei lisää polttoaineenkulutusta. SCR-laitteiston asentamisesta aiheutuvat investointikustannukset kasvattavat hieman myös muita kustannuksia.

Urean hinnaksi on arvioitu 150 euroa/tonni⁵. Nykyisillä polttoaineen ja urean hinnoilla luokan "polttoainekustannukset" kustannukset nousevat 5,3 prosenttia nykyisestä^{6,7}. SCR-laitteiston käyttökustannusten suhteellinen vaikutus on kuitenkin herkkä muutoksille sekä polttoaineen että urean hinnassa. Mikäli polttoaineen suhteellinen hinnannousu on suurempi kuin urean, SCR-laitteiston käytöstä aiheutuvan kustannuksen suhteellinen osuus pienenee.

⁵ Urean hinta-arvio perustuu pitoisuudeltaan 40 % ureaan (2.6.2010), jonka toimittaa Tukholman alueelle Fred Holmberg & Co.

⁶ Polttoainekustannusten hinnanvaihtelujen tasaamiseksi laskelmissa on käytetty IFO 380 -polttoaineen kahden viimeisen vuoden (27.10.2008–26.10.2010) keskiarvoa 386 \$/tonni Rotterdamissa, eli saman aikavälin valuuttakurssin mukaan (1 USD = 0,740 €) 285 €/tonni. (Bunkerworld 2010; Scandinavian Shipping Gazette 2010 & Suomen Pankki 2010).

⁷ Taulukoissa 5.1 ja 5.2 polttoaineen keskimääräinen hinta on päivitetty ajalle 27.10.2008–26.10.2010. Aluskustannukset 2009 -selvityksessä käytettiin polttoainehinnan keskiarvoa vuosilta 2006–2008, eli 272 €/t.

Taulukko 5.1 SCR-laitteiston vaikutus aluskustannuksiin vuoden 2010 hintatasolla.

	Kontti- alukset	Kuivalasti- alukset	Kuivabulk- alukset	Säiliö- alukset	Ro-ro- alukset	Matkustaja- autolautat
Pääomakustannuk- set	+2,6 %	+1,7 %	+1,7 %	+1,4 %	+1,5 %	+1,5 %
Käyttökustannukset						
Urea (suhteutet- tuna luokkaan "polttoainekustan- nukset")	+5,3 %	+5,3 %	+5,3 %	+5,3 %	+5,3 %	+5,3 %
Korjaus + kunnossapito	+2,6 %	+1,7 %	+1,7 %	+1,4 %	+1,5 %	+1,5 %
Miehitys- kustannukset	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Yhteensä	+4,2 %	+3,4 %	+3,2 %	+2,9 %	+3,2 %	+3,4 %

Aluskustannukset 2009 -selvityksen aineistoista voidaan selvittää alustyypeittäin ja koko-
luokittain keskimääräiset kokonaisaluskustannukset (Taulukko 5.2). Kustannuksia voi-
daan tarkastella esimerkiksi ajovuorokautta tai kuljetettua yksikköä kohti. Kaikkien alus-
tyyppien aluskustannukset ajovuorokautta kohti luonnollisesti kasvavat aluskoon kasvun
myötä, mutta kuljetettua yksikköä kohti aluskustannukset vastaavasti poikkeuksetta ale-
nevat, kun aluskoko suurenee. Matkustaja-autolautoilla aluskustannukset ovat keskimää-
rin muita alustyyppisiä selvästi korkeammat. Ro-ro-aluksilla puolestaan aluskustannukset
kuljetettua tonnia kohti ovat selvästi muita alustyyppisiä korkeammat. SCR-laitteiston
hankinta ja käyttäminen aiheuttaa alustyyppistä ja -koosta riippuen aluskustannuksiin
2,0–4,5 prosentin korotuksen.

Taulukko 5.2 Aluskustannukset alustyypeittäin ja kokoluokittain sekä SCR:stä aiheutuvan lisäkustannuksen osuus aluskustannuksista vuoden 2010 hintatasolla.

		Aluskustannukset					
		€/ajovrk (ilman SCR:ää)	SCR-lisä		€/TEU tai €/tonni (ilman SCR:ää)	SCR-lisä	
			%	€		%	€
KONTTI- ALUKSET ⁸	Pieni (<1 000 TEU)	11 960	+3,1 %	370	21,39	+2,8 %	0,59
	Keskisuuri (1 000–3 500 TEU)	31 410	+4,1 %	1 300	14,24	+4,1 %	0,58
	Suuri (>3 500 TEU)	63 200	+4,5 %	2 830	12,92	+4,5 %	0,58
KUIVA- LASTI- ALUKSET	Pieni (<6 000 dwt)	5 920	+2,5 %	150	1,77	+2,3 %	0,04
	Keskisuuri (6 000–18 000 dwt)	11 620	+3,5 %	410	1,19	+3,5 %	0,04
	Suuri (>18 000 dwt)	22 320	+3,6 %	800	0,81	+3,6 %	0,03
IRTOLASTI- ALUKSET	Pieni (<30 000 dwt)	15 000	+3,3 %	500	0,85	+3,3 %	0,03
	Keskisuuri (30 000–60 000 dwt)	20 600	+3,3 %	670	0,47	+3,3 %	0,02
	Suuri (>60 000 dwt)	27 360	+3,1 %	840	0,33	+3,1 %	0,01
SÄILIÖ- ALUKSET	Pieni (<20 000 dwt)	15 710	+2,2 %	340	1,90	+2,0 %	0,04
	Keskisuuri (20 000–60 000 dwt)	24 750	+3,1 %	760	0,63	+3,0 %	0,02
	Suuri (>60 000 dwt)	37 260	+3,3 %	1 240	0,39	+3,3 %	0,01
RO-RO- ALUKSET	Pieni (<5 000 dwt)	18 920	+3,0 %	570	5,08	+3,0 %	0,15
	Keskisuuri (5 000–10 000 dwt)	28 440	+3,2 %	910	3,42	+3,2 %	0,11
	Suuri (>10 000 dwt)	40 480	+3,3 %	1 340	2,75	+3,3 %	0,09
MATKUSTA JA- AUTOLAUT AT	Pieni (<5 000 dwt)	24 560	+2,0 %	490	..	..	..
	Keskisuuri (5 000–10 000 dwt)	73 180	+3,2 %	2 330	..	..	..
	Suuri (>10 000 dwt)	152 470	+3,7 %	5 600	..	..	..

Taulukossa 5.3 esitetään Aluskustannukset 2009 -selvitykseen perustuen alusten keskimääräiset polttoainekustannukset⁹ alustyypeittäin ja kokoluokittain. Matkustaja-

⁸ Konttialusten kohdalla on kuljetusyksikkönä käytetty tonniin sijaan TEU-määrää, joka kuvaa aluskustannusten alenemista kuljetettua tavaramäärää kohti paremmin kuin tonnimäärään perustuva laskelma.

⁹ Polttoainekustannusten hintaheilahtelujen poistamiseksi laskelmissa on päädytty käyttämään kahden vuoden (27.10.2008–26.10.2010) keskiarvoa 386 USD/t eli 285 €/t.

autolautoilla polttoaineen kulutus ajovuorokautta kohti ja siten myös polttoaine- ja ureakustannukset ovat kaikkein suurimmat. SCR-laitteistoa käytettäessä urean käyttökustannukset nostavat alustyyppistä ja -koosta riippumatta kustannuksia urean hinnan verran, eli 5,3 prosenttia polttoainekustannuksiin nähden vuonna 2010. Mikäli polttoaineen suhteellinen hinnannousu on suurempi kuin urean, SCR-laitteiston käytöstä aiheutuvan kustannuksen suhteellinen osuus pienenee.

Taulukko 5.3 Polttoainekustannukset alustyypeittäin ja kokoluokittain sekä SCR-laitteistosta aiheutuvan käyttökustannuksen eli urean hinnan osuus vuoden 2010 hintatasolla.

		Polttoaine- ja ureakustannukset				
		€/ajovrk (ilman SCR:ää)	SCR-urealisä %	€/ajo- vrk	€/TEU tai €/tonni (ilman SCR:ää)	SCR- urealisä €
KONTTI- ALUKSET	Pieni (<1 000 TEU)	5 590	+5,3 %	300	9,01	0,47
	Keskisuuri (1 000–3 500 TEU)	19 880	+5,3 %	1 050	8,92	0,47
	Suuri (>3 500 TEU)	43 230	+5,3 %	2 280	8,82	0,46
KUIVALASTI- ALUKSET	Pieni (<6 000 dwt)	2 260	+5,3 %	120	0,63	0,03
	Keskisuuri (6 000–18 000 dwt)	6 220	+5,3 %	330	0,63	0,03
	Suuri (>18 000 dwt)	12 180	+5,3 %	640	0,45	0,02
IRTOLASTI- ALUKSET	Pieni (<30 000 dwt)	7 600	+5,3 %	400	0,43	0,02
	Keskisuuri (30 000–60 000 dwt)	10 230	+5,3 %	540	0,23	0,01
	Suuri (>60 000 dwt)	12 860	+5,3 %	680	0,16	0,01
SÄILIÖ- ALUKSET	Pieni (<20 000 dwt)	5 250	+5,3 %	280	0,58	0,03
	Keskisuuri (20 000–60 000 dwt)	11 530	+5,3 %	610	0,30	0,02
	Suuri (>60 000 dwt)	19 000	+5,3 %	1 000	0,20	0,01
RO-RO- ALUKSET	Pieni (<5 000 dwt)	8 710	+5,3 %	460	2,33	0,12
	Keskisuuri (5 000–10 000 dwt)	13 930	+5,3 %	730	1,67	0,09
	Suuri (>10 000 dwt)	20 380	+5,3 %	1 070	1,39	0,07
MATKUSTAJA- AUTOLAUTAT	Pieni (<5 000 dwt)	7 470	+5,3 %	390	..	..
	Keskisuuri (5 000–10 000 dwt)	35 570	+5,3 %	1 870	..	..
	Suuri (>10 000 dwt)	85 460	+5,3 %	4 500	..	..

6. Typenoksidipäästörajoitusten vaikutus rahtihintatasoon

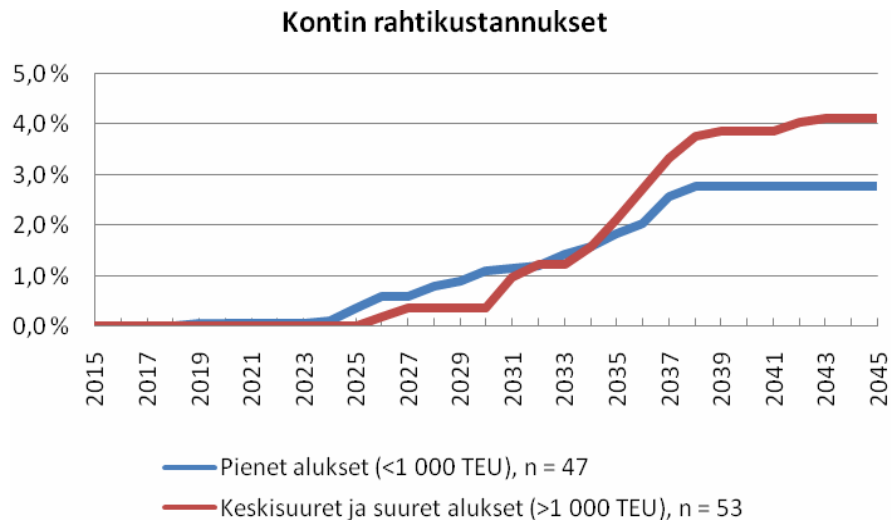
6.1 Vaikutus rahtihintatasoon

Typipäästöjen rajoittaminen kohottaa kuljetuskustannuksia sitä mukaa kun aluskanta uudistuu eli vuoden 2015 jälkeen rakennettujen alusten osuus aluskannasta kasvaa. Tässä esitettävissä laskelmissa oletuksena alusten uusiutumisessa on, että jokainen vuoden 2015 jälkeen elinkaarensa päähän tuleva alus korvataan uudella, vastaavantyyppisellä ja -kokoisella aluksella. Todellisuudessa kustannusten nousua saattaa kuitenkin hidastaa se, että uusien Tier III -alusten sijaan saatetaan hankkia muutaman vuoden ikäisiä Tier I ja Tier II -aluksia, joiden typipäästörajat ovat korkeampia, niin kauan kuin niitä on saatavilla. Lisäksi vanhoja pieniä aluksia saatetaan mm. skaalaetujen vuoksi korvata suuremmilla aluksilla, mikä vaikuttaisi jonkin verran alusten määrään ja kustannuksiin. Tällaisia mahdollisia siirtymiä ei ole tässä otettu huomioon.

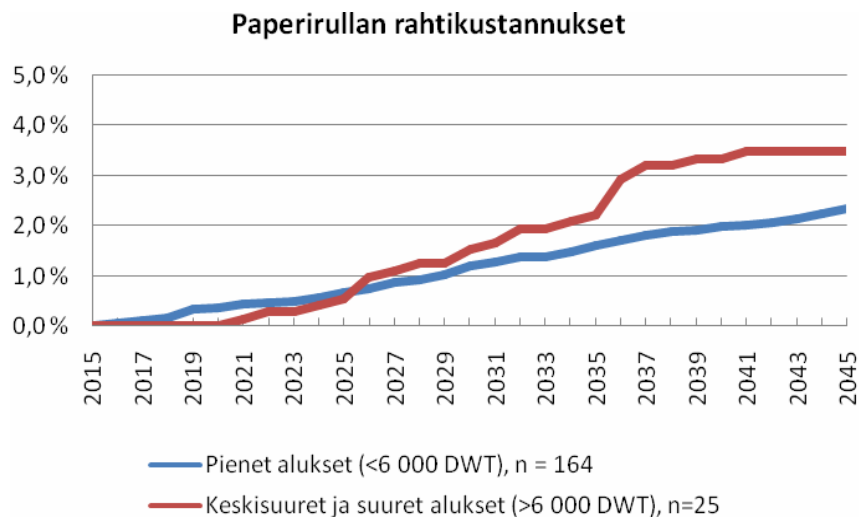
Kuljetuskustannusten nousu vaikuttaa aiemmin kerättyjen asiantuntijanäkemyksen mukaan suoraan rahtihintatasoon, eli päiväkustannusten kohoaminen siirtyy ainakin tietyllä viiveellä suoraan rahtihintoihin¹⁰. Siksi SCR-laitteistoista aiheutuvien kustannusten nähdään tässä tutkimuksessa korreloivan suoraan rahtihintatason kanssa.

Kuvissa 6.1–6.5 esitetään, kuinka paljon tiettyjen meriteitse kuljetettavien rahtityyppien kuljetuskustannukset kohoavat prosentuaalisesti kuljetettua tonnia tai TEU:ta kohti sitä mukaa, kun uusien, SCR-laitteistolla varustettujen, alusten osuus kasvaa. Esimerkkeinä toimivat rahtityypit on jaettu kuljetettavaksi tietyllä alustyyppillä. Kuvissa 6.1–6.5 rahtikustannusten keskimääristä nousua kuvataan kolmessa aluskokoluokassa. Kun koko rahtityyppiä kuljettava aluskanta on uusiutunut, eli kaikki alukset on rakennettu vuoden 2015 jälkeen ja varustettu SCR-laitteistolla, typirajoituksista aiheutuvat kustannukset ovat tulleet täysimääräisiksi. Uusiutuvassa aluskannassa on otettu huomioon kaikki alukset, jotka ovat käyneet Suomessa vuoden 2008 aikana. Poikkeuksen tähän muodostavat konventionaaliset kuivalastialukset, jotka on rajattu niiden suuren lukumäärän vuoksi yli 10 kertaa Suomessa käyneisiin aluksiin. Keskisuuria ja suuria aluksia käsitellään konttialusten ja konventionaalisten kuivalastialusten osalta yhtenä ryhmänä, sillä valtaosa Suomeen liikennöivistä aluksista on kokoluokaltaan pieniä tai keskisuuria.

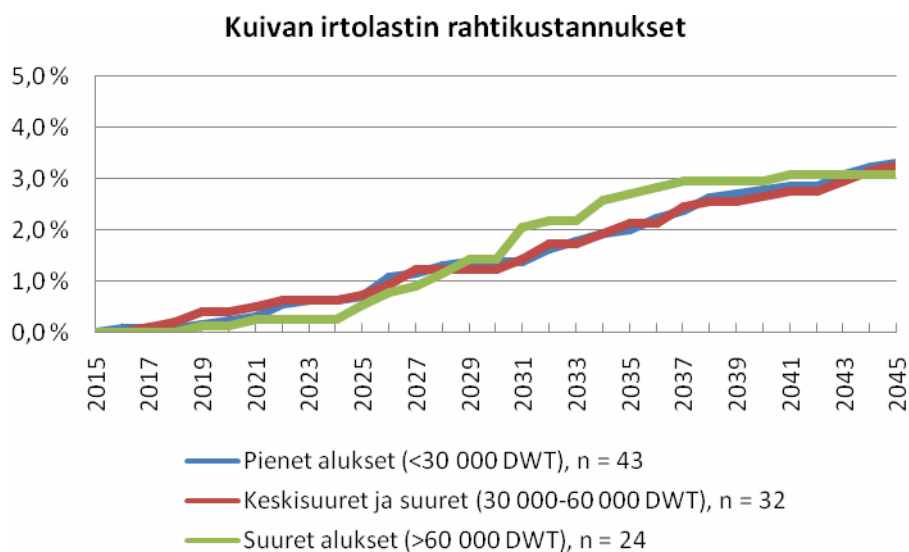
¹⁰ Varustamojen ja EK:n toimialaliittojen asiantuntijoiden näkemyksiä selvitettiin vuonna 2009 toteutetussa Laivapolttoaineen rikki- ja hiilipitoisuus -selvityksessä.



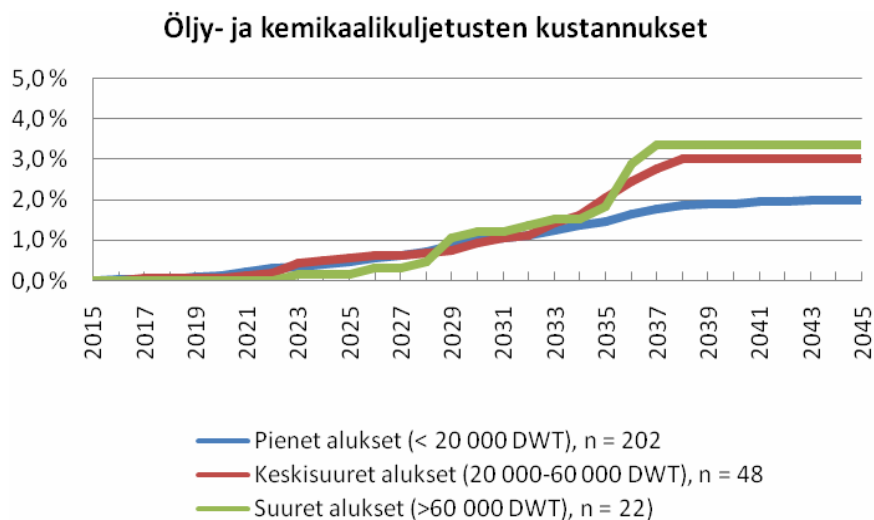
Kuva 6.1 Konttialuksella kuljetettavan kontin rahtikustannusten kehitys vuoden 2010 hintatasolla SCR-laitteistolla varustettujen alusten osuuden kasvaessa.



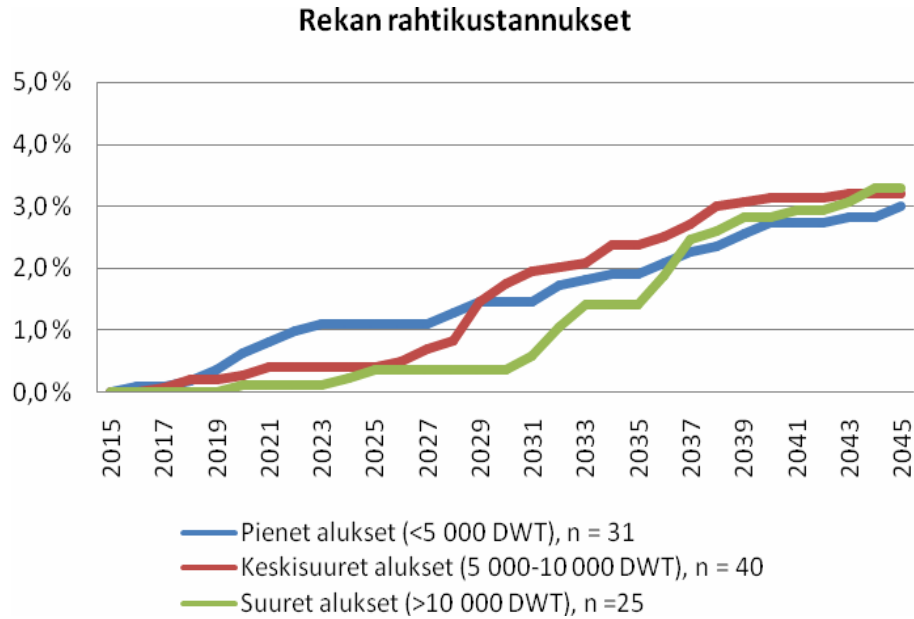
Kuva 6.2 Kuivalastialuksella kuljetettavan paperirullan rahtikustannusten kehitys vuoden 2010 hintatasolla SCR-laitteistolla varustettujen alusten osuuden kasvaessa. Hyppäys kustannuksissa 2030-luvulla johtuu siitä, että useita keskisuuria tai suuria kuivalastialuksia saavuttaa 30 vuoden iän ja ne korvautuvat uudella aluksella.



Kuva 6.3 Irtolastialuksella kuljetettavan kuivan irtolastin, kuten rautapellettien ja malmien, rahtikustannusten kehitys vuoden 2010 hintatasolla SCR-laitteistolla varustettujen alusten osuuden kasvaessa.



Kuva 6.4 Säiliöaluksella kuljetettavien öljy- ja kemikaalikuljetusten rahtikustannusten kehitys vuoden 2010 hintatasolla SCR-laitteistolla varustettujen alusten osuuden kasvaessa. Hyppäys kustannuksissa 2030-luvun lopulla johtuu siitä, että useita suuria säiliöaluksia saavuttaa 30 vuoden iän ja ne korvautuvat uusilla aluksilla.



Kuva 6.5 Ro-ro- tai ropax-aluksella kuljetettavan rekka-auton rahtikustannusten kehitys vuoden 2010 hintatasolla SCR-laitteistolla varustettujen alusten osuuden kasvaessa.

6.2 Vaikutus toimialoihin

Taulukko 6.1 kuvaa typpirajoituksista aiheutuvan hinnannousun vaikutuksia toimialoihin ja kustannusten jakautumista toimialojen kesken Suomessa. Suomen toimialoille koituvat arvioidut lisäkustannukset on jaettu toimialoittain sen mukaan, mikä on niiden prosentuaalinen osuus tuonnista ja viennistä.¹¹ Vuonna 2009 tuonnin osuus kansainvälisestä meriliikenteestä (ilman transitoa) oli 57 prosenttia ja viennin 43 prosenttia (Liikennevirasto 2010), mikä on otettu huomioon laskettaessa toimialan osuutta koko Suomen ulkomaankaupan meriliikenteestä. Kustannukset lisääntyvät erityisesti sellaisilla toimialoilla, joiden rahdeista suuri osa kuljetetaan meriteitse. Siksi etenkin metsä-, metalli- ja kemianteollisuuden osuus kustannuksista on suuri. Muiden palvelujen suuri osuus tuonnista selittyy sillä, että toimialaan lasketaan tässä kuuluvaksi myös energiantuotannon raaka-aineet kuten raakaöljy ja kivihiili.

¹¹ Toimialojen prosentuaaliset osuudet on arvioitu jakamalla Tullihallituksen (2009) ulkomaankauppatilastojen tavaralajien (SITC-taso 3) tonni- tai euromäärät vuodelta 2007 asiantuntijalausuntojen perusteella tietyille toimialalle tai tietyille toimialoille. On mahdollista, että jakaumissa on vuoden 2007 jälkeen tapahtunut pieniä muutoksia esim. metsäteollisuuden osuudessa. Jakaumassa ei kuitenkaan oleteta tapahtuneen merkittäviä muutoksia, joten on päädytty käyttämään kolmen vuoden takaista jakoa.

Taulukko 6.1 Suomen ulkomaankaupan meriliikenteen tonnimäärien arvioitu prosentuaalinen jakautuminen eri toimialoille vuonna 2007.

Toimiala	Osuus viennistä	Osuus tuonnista	Toimialan osuus lisäkustannuksista yhteensä
Maatalous	0,0 %	0,7 %	0,4 %
Metsätalous	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Kaivostoiminta	4,7 %	0,0 %	2,0 %
Rakentaminen	0,9 %	8,1 %	5,0 %
Metsäteollisuus	51,5 %	13,2 %	29,7 %
Metalliteollisuus	9,1 %	14,7 %	12,3 %
Teknolomiteollisuus	0,4 %	0,4 %	0,4 %
Kemianteollisuus	24,1 %	6,8 %	14,2 %
Elintarviketeollisuus	3,1 %	2,1 %	2,5 %
Muu teollisuus	3,7 %	2,3 %	2,9 %
Kauppa	2,3 %	6,9 %	4,9 %
Muut palvelut (sisältää mm. energiantuotannon raaka-aineet)	0,2 %	44,9 %	25,6 %
Yhteensä	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Toimialojen osuudet on laadittu jakamalla Tullihallituksen (2009) ulkomaankauppa-tilastojen tavaralajien tonnimäärät vuodelta 2007 asiantuntija-arvioiden perusteella tietyille toimialoille.

7. Taloudelliset ohjauskeinot uuden teknologian edistämiseksi

Jotta uudet alukset täyttävät Tier III -tason NOx-päästörajoitusvaatimukset, on niihin asennettava luvussa 2 esiteltyä teknologiaa, mikä aiheuttaa lisäkustannuksia. On esitetty, että varustamoille aiheutuvia lisäkustannuksia voitaisiin kompensoida taloudellisilla ohjauskeinoilla, jotka edistäisivät uusien aluksien hankintaa ja käyttöä Itämerellä. Tällaisia ohjauskeinoja voisivat olla esimerkiksi alusten maksamien väylä- ja/tai satamamaksujen porrastaminen sen mukaan, kuinka paljon NOx-päästöjä ne aiheuttavat.

7.1 HELCOM-suositus

HELCOM on vuonna 2007 laatimassaan suosituksessa¹² esittänyt mallia, jossa jäsenmaat myöntäisivät perimiinsä väylämaksuihin aluksen typpipäästöihin (päästötasot grammoja NOx-päästöjä kilowattituntia kohti) perustuen alennuksen: mitä vähemmän päästöjä, sitä suurempi alennus. MKK laati vuonna 2010 HELCOMille selvityksen suunnitellun Itämeren NECA-alueen taloudellisista vaikutuksista (Kalli et al. 2010). Siinä yhteydessä tehtiin todellisiin aluskäynteihin perustunut laskelma alennusjärjestelmän käyttöönoton vaikutuksista aluksen maksamiin väylämaksuihin.

Laskelma osoitti, että alennus olisi joissakin tapauksissa huomattava verrattuna SCR-laitteiston vuotuisiin kokonaiskustannuksiin. Väylämaksuista saatava alennus vaihtelisi esimerkkialusten kohdalla 9:stä 30 prosenttiin aluskoosta ja käyntimääristä riippuen. Vastaavasti vuosittaisista SCR-laitteiston käyttökustannuksista laskettu alennusprosentti vaihtelisi aluskoosta ja käyntimääristä riippuen 3:sta 45:een. Bruttovetoisuudeltaan suuret, säännöllisessä linjaliikenteessä Suomen satamiin liikennöivät ropax-alukset hyötyisivät eniten alennusjärjestelmästä. Satunnaisesti Suomen satamissa käyvät alukset puolestaan saisivat vähiten hyötyä. Ympäristön kannalta järjestelmä olisi kustannustehokas, koska säännöllisen liikenteen suuren konetehon alusten päästöjen pienentämisellä olisi suurimmat vaikutukset. Laskelman tulokset on esitetty taulukossa 7.1. Laskelmien olettamuksena on, että aluksilla on kaikissa moottoreissa toimivat SCR-laitteistot, jotka poistavat 80 prosenttia NOx-päästöistä.

¹² HELCOM Recommendation 28E/13, 2007.

Taulukko 7.1 Laskelma esimerkkialusten saamista väylämaksualennuksista Suomessa, jos HELCOM:in suositus 28E/13 olisi käytössä.

Alus	Alustyyppi	Bruttovetoisuus	Nettovetoisuus	Satamakäyntejä Suomessa	Väylämaksu vuodessa [€]	Tier I -päästötaaso [g/kWh]	Tier III -päästötaaso [g/kWh]	Päästöero [g/kWh]	HELCOM 28E/13 alennus €/netto	Alennus €/vuosi	Alennus %	Polttoaineenkulutus 2008 [tonnia]	Kokonaiskonetehto [kW]	SCR-käyttökustannukset /vuosi [€]	SCR-investointikustannukset /vuosi [€]	SCR-kokonaiskustannukset /vuosi [€]	Alennus [%] vuosittaisista SCR-kustannuksista
1	ro-ro	12460	3738	10	82 909	14.50	2.90	8.70	0.200	7 476	9	12.46	11 700	83 493	64 448	147 941	5
2	ro-ro	6620	1986	10	23 534	14.50	2.90	8.70	0.200	3 972	17	6.62	5 611	43 398	30 908	74 305	5
3	ropax	34728	18745	30	448 755	14.50	2.90	8.70	0.174	97 849	22	34.73	34 428	202 650	189 643	392 293	25
4	ro-ro	6620	1986	10	23 534	14.50	2.90	8.70	0.200	3 972	17	6.62	5 756	46 699	31 706	78 406	5
5	ro-ro	6620	1986	10	23 534	14.50	2.90	8.70	0.200	3 972	17	6.62	7 136	55 379	39 308	94 687	4
6	ro-ro	12460	3738	10	82 909	14.50	2.90	8.70	0.200	7 476	9	12.46	11 700	81 096	64 448	145 544	5
7	bulk	4110	2042	10	45 292	14.50	2.90	8.70	0.200	4 084	9	4.11	3 999	10 161	22 028	32 189	13
8	ropax	10067	3020	30	245 526	14.50	2.90	8.70	0.174	15 764	6	10.07	7 512	66 889	41 379	108 268	15
9	ropax	37860	24421	30	584 639	15.00	3.00	9.00	0.193	141 398	24	37.86	31 847	302 217	175 426	477 643	30
10	ropax	59914	41309	30	793 719	15.00	3.00	9.00	0.193	239 179	30	59.91	40 800	449 832	224 743	674 575	35
11	ropax	34414	19646	30	470 325	14.50	2.90	8.70	0.174	102 552	22	34.41	34 808	163 173	191 737	354 909	29
12	ropax	58276	38970	30	765 721	14.50	2.90	8.70	0.174	203 423	27	58.28	43 780	417 223	241 158	658 381	31
13	ropax	58377	38971	30	765 733	14.50	2.90	8.70	0.174	203 429	27	58.38	44 060	407 937	242 700	650 638	31
14	ro-ro	23128	6938	10	82 215	14.50	2.90	8.70	0.200	13 876	17	23.13	23 560	346 907	129 778	476 685	3
15	ro-ro	23128	6938	10	82 215	14.50	2.90	8.70	0.200	13 876	17	23.13	24 125	373 362	132 890	506 252	3
16	ropax	46398	29223	30	649 049	14.50	2.90	8.70	0.174	152 544	24	46.40	31 140	170 241	171 532	341 772	45

7.2 Ruotsin väylämaksuun perustuva malli

Ruotsalainen Per Kågeson (2009) on raportissaan "Market-based Instruments for NOx abatement in the Baltic Sea" tarkastellut, mitä erilaisia taloudellisia kannustimia ja muita markkinaperusteisia keinoja voitaisiin käyttää NOx-päästöjen vähentämisen edistämiseksi. Kågeson nostaa vaikutuksiltaan tehokkaimmiksi keinoiksi NOx-päästömaksut ja krediittijärjestelmään (baseline-and-credit) perustuvan päästökauppajärjestelmän. Muita tarkasteltuja keinoja ovat alusten typpipäästöjen määrästä riippuvat satama- ja väylämaksut, Norjan NOx-veroon ja NOx-rahastoon perustava malli, Rotterdamin Green Award -järjestelmä sekä ruotsalainen Clean Shipping -projekti.

Ruotsin merenkululaitos, Ruotsin satamia ja satamaoperaattoreita edustava yhdistys sekä Ruotsin varustamoyhdistys sopivat jo vuonna 1996 alusten päästömäärien perusteella eriytettyjen väylä- ja satamamaksujen käyttöön otosta NOx- ja SOx-päästöjen vähentämiseksi. Ruotsissa väylämaksun perusteena on sekä aluksen bruttovetoisuus että sen kuljettama lastimäärä. Alennus koskee vain bruttovetoisuuteen perustuvaa osuutta. Kun eriyttäminen otettiin käyttöön, väylämaksun perustasoa nostettiin, jotta vähäpäästöisille aluksille voitiin myöntää huomattavat alennukset ilman että tulokertymä olisi pudonnut liikaa. NOx-päästömäärään perustuva alennus riippuu päästöistä, jotka mitataan grammoina kilowattituntia kohti. Jos NOx-päästöt ovat 75 prosentin koneteholla yli 10 g/kWh, ei alennusta myönnetä. Tämän rajan alapuolella alennuksen määrä kasvaa, kunnes nollapäästöiseltä alukselta ei peritä lainkaan bruttovetoisuuteen perustuvaa väylämaksuosuutta. Alennuksen saamiseksi aluksella pitää olla NOx-sertifikaatti. Ruotsin merenkululaitos on arvioinut, että järjestelmä vähentää Ruotsin satamissa käyvien alusten NOx-päästöjä noin 44 000 tonnia vuosittain. Kannustaakseen varustamoita asentamaan SCR-laitteistoja laivoihin Ruotsin merenkululaitos tarjosi viiden ensimmäisen vuoden ajan (alkaen 1.1.1998) varustamoille osittaista investointitukea asennuksiin.

Vuoden 2009 puoliväliin mennessä 19 ruotsalaista satamaa oli ottanut käyttöön NOx-päästöihin perustuvan satamamaksualennusjärjestelmän. Alennusjärjestelmää sovelletaan Ruotsin merenkululaitoksen sertifikaatin saaneisiin aluksiin, mutta muuten satamat päättävät itsenäisesti alennusperusteista ja -määristä. Väylämaksuihin verrattuna satamamaksujen alennukset ovat huomattavasti vähäisempiä. Ruotsissa käytössä olevat alennusjärjestelmät hyödyttävät eniten säännöllisen linjaliikenteen aluksia, koska väylämaksuja peritään vain tietyltä määrältä käyntikertoja kuukaudessa alustyyppistä riippuen.

7.3 Norjan NOx-vero

Norja otti käyttöön tammikuun 2007 alusta NOx-päästöjä koskevan veron, joka koskee teholtaan yli 750 kW:n laivamoottoreita. Veron määrä on 15 Norjan kruunua (1,85 €¹³) jokaista NOx-kiloa kohti. Vero koskee Norjan aluevesillä tapahtuvia päästöjä aluksen kansallisuudesta riippumatta, mutta se ei koske kansainvälisessä liikenteessä olevia aluksia eikä niitä aluksia, jotka liikennöivät suoraan Norjan ja ulkomaisten satamien välillä. Veron käyttöön oton jälkeen joukko norjalaisia merenkulkualan yrityksiä on sopinut Norjan ympäristöministeriön kanssa, että veroa alennetaan 15 kruunusta 4 kruunuun ja 11 kruunuun (off shore -sektori) kiloa kohti. Yritykset, jotka sitoutuvat maksamaan toimialan NOx-rahastoon 4 kruunua (0,49 €) päästökiloa kohti vapautuvat veron maksamiselta kolmen vuoden ajaksi. Samalla ne sitoutuvat tutkimaan NOx-päästöjä vähentäviä investointeja.

Norjassa on saatu hyviä tuloksia vero- ja rahastojärjestelmän käyttöön otosta. Yli 90 prosenttia päästöistä, jotka alun perin olivat verojen alaisia, katetaan nyt rahastosopi-

¹³ Vaihokurssi 1 EUR = 0,12 NOK (29.11.2010)

muksilla, joiden perusteella veroa ei tarvitse maksaa. Rahastojärjestelmän käyttöönoton myötä noin 75 miljoonaa euroa vuosittain allokoidaan NOx-päästövähennysprojekteihin. NOx-rahaston hallitus valitsee kustannustehokkaimmat NOx-päästöjä vähentävät projektit, jotka voivat saada 75 prosentin avustuksen investointikustannuksiinsa. Rahasto voi myöntää tukea myös käyttökustannuksiin kuten SCR-laitteistossa tarvittavaan ureaan (0,18 € ureakiloa kohti). Vuoden 2011 loppuun mennessä järjestelmän arvioidaan vähentäneen vuosittaisia päästöjä 30 000 tonnia. Se on myös toiminut kannustimena teknologian kehittämisessä. Järjestelmä ei ole suoraan siirrettävissä Suomeen mm. liikenteen erilaisen rakenteen vuoksi, mutta periaatetasolla järjestelmästä olisi rakennettavissa myös Suomeen soveltuva versio.

7.4 NOx-päästömaksujärjestelmä

Kågesonin esittämä NOx-päästömaksujärjestelmä perustuisi siihen, että alukset maksaisivat aina satamaan saapuessaan todellisiin päästöihin perustuvan maksun (siltä matkalta, jonka alus on kulkenut joko Itämerelle tultuaan tai edellisestä Itämeren satamasta). Järjestelmän etuna olisi maksujen perustuminen päästömäärään, mutta se vaatisi kattavan seurantajärjestelmän laatimista ja kaikkien satamien osallistumista. Jotta maksujärjestelmä toimisi kannustimena uuden teknologian kehittämiseen, vaatisi se rinnalleen jonkinlaisen Norjan mallia vastaavan rahastojärjestelmän.

Päästökauppajärjestelmässä määriteltäisiin NOx-päästöille jokin vertailuarvo (g/kWh). Alukset, joiden päästöt olisivat vertailuarvoa korkeammat, joutuisivat ostamaan päästö-pisteitä (credit) aluksilta, joiden päästöt ovat vertailuarvoa alemmat. Vertailuarvon määrittelemineen olisi vaikeaa, mutta hyvin oleellista järjestelmän toiminnan kannalta. Jos se asetettaisiin liian korkealle, pisteistä tulisi pulaa, vaikkakin se silloin toimisi kannustimena päästöjä vähentävien laitteiden asentamiselle. Tämäkin järjestelmä vaatisi laajaa osallistumista tai maksuja aluksille, jotka eivät järjestelmään osallistu.

Edellä mainitut päästömaksu- ja päästökauppajärjestelmät vaatisivat toteutuakseen ja toimiakseen laajaa yhteistyötä ja sitoutumista koko Itämeren alueella. Yksistään Suomen meriliikenteeseen ei näitä järjestelmiä voi rakentaa, vaan silloin käyttökelpoisin taloudellinen kannustinjärjestelmä olisi luvun alussa esitelty päästöjen määrään perustuva väylämaksujärjestelmä. Taloudellisten kannustimien suuruusluokan määrittelemineen on haasteellinen tehtävä. Mahdollisten maksualennusten pitäisi olla riittävän suuria, jotta ne oikeasti kannustaisivat varustamoja investoimaan päästöjä vähentävään teknologiaan. Samalla ne eivät kuitenkaan saisi olla niin suuria, että maksutuotot oleellisesti vähenevät, jos maksutuotoilla on tarkoitus kattaa esimerkiksi infrastruktuurin ylläpitokustannukset.

7.5 Suomen lainsäädännön kannustinmahdollisuudet

Aluksilta perittävien maksujen päästöperusteisen porrastamisen lisäksi verojärjestelmä tarjoaa kannustimen NOx-päästöjä vähentävien investointien kompensoimiseksi. Suomessa voimassa oleva tonnistoverolaki (476/2002, 1249/2009) mahdollistaa NOx- ja muiden päästöjen vähentämiseen ja poistamiseen tarkoitettujen laitteiden hankintakustannusten vähentämisen tonnistoverotuksessa. Lain 15 §:ssä mainitaan:

”Edellä 1 ja 2 momentin nojalla veronalaiseksi luettavan tulon enimmäismäärää alennetaan 25/13 osalla aluksen hankintamenon määrästä, jos alus on hankittu ja otettu pysyväan käyttöön tonnistoverovelvollisen yhtiön 8 §:ssä tarkoitetuksi alukseksi muulta kuin yhtiön 3 §:n 1 ja 2 momentin mukaisessa suhteessa olevalta kotimaiselta luovuttajalta. *Samansuuruinen vähennys voidaan tehdä sellaisen irtaimen käyttöomaisuuden hankintamenon perusteella, jolla korjataan tai*

ennalta ehkäistään ympäristölle tai luonnonvaroilte aiheutuvia haittoja, pienennetään tällaisten haittojen vaikutuksia tai edistetään luonnonvarojen järkevää käyttöä, mukaan lukien energiansäästötoimenpiteet ja uusiutuvien energialähteiden käyttö (ympäristöinvestointi)."

Uusin ympäristöperusteinen tukimuoto Suomessa on alusten ympäristönsuojelua parantava investointituki, josta annettiin Valtioneuvoston asetus 11.11.2010. Valtion tukea voidaan myöntää ympäristönsuojelua parantaviin uudisalusinvestointeihin EU:n komission 1.4.2008 hyväksymien yhteisön ympäristötukisuuntaviivojen mukaisesti. Ympäristönsuojelun valtiontukien päätavoitteena on varmistaa, että valtiontukitoimenpiteillä saavutetaan ympäristönsuojelun taso, joka on korkeampi kuin ilman tukea saavutettava taso. Tuesta saavutettavan hyödyn on kompensoitava sen kilpailua vääristävät vaikutukset aiheuttamisperiaate huomioon ottaen. (Yhteisön suuntaviivat valtiontuesta ympäristönsuojelulle, 2008/C82/01)

Investointitukea voidaan myöntää Suomessa rekisteröidylle varustamolle, jos alus on tarkoitettu rekisteröitäväksi Suomen alusrekisteriin ja kauppa-alusluetteloon. Tukipäätös on ehdollinen, kunnes EU:n komissio on hyväksynyt tukiohjelman ja tarvittaessa (yli 7,5 miljoonan euron yritysکوhtainen tuki) yksittäisen hakemuksen. Tuen enimmäismäärä määräytyy ympäristötukisuuntaviivoissa mainituilla perusteilla ja se riippuu tukea hakevan yrityksen koosta. Asetuksen 5 §:n mukaan tukea voidaan myöntää hankkeeseen,

1. jonka osalta sitovaa sopimusta uuden aluksen tilaamisesta ei ole tehty,
2. joka mahdollistaa sen, että tuensaaja voi parantaa toiminnallaan ympäristönsuojelun tasoa ylittämällä sovellettavat Euroopan unionin normit ja jotka erityisesti edistävät vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöä tai polttoaineista aiheutuvien päästöjen vähentämisteknologioiden hyödyntämistä aluksissa tai
3. joka mahdollistaa sen, että tuensaaja voi parantaa toiminnallaan ympäristönsuojelun kansallista tasoa Euroopan unionin normien puuttuessa.

8. Johtopäätökset

Kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n meriympäristön suojelukomitean MEPC:n vuonna 2008 hyväksymän MARPOL-yleissopimuksen uudistetun ilmansuojeluliitteen (VI liite) uusilla säännöillä rajoitetaan alusliikenteen typenoksidi- (NOx) ja rikkioksidipäästöjä (SOx) ilmakehään ja niiden laskeumia mereen. Alusten typenoksidipäästöjä rajoitetaan vaiheittain. IMO:n määrittelemiä kolmen vaatimustason päästörajoituksia kutsutaan yleisesti nimillä Tier I, Tier II ja Tier III. Tier III tulee voimaan erikseen määriteltävillä NOx-päästöjen valvonta-alueilla (NECA) aluksille, joiden kölinlaskupäivä on 1.1.2016 tai sen jälkeen. Tier III -tason vaatimusten täyttäminen edellyttää NOx-päästöjen vähentämistä noin 80 prosenttia Tier I -säännöksiin verrattuna. Itämeren suojelukomission (HELCOM) tavoitteena on Itämeren määrittelemisen NECA-alueeksi.

SCR-laitteisto (katalysaattori, pakokaasun jälkikäsittelymenetelmä) on ainoa tänä päivänä markkinoilla oleva tekniikka, joka kykenee vastaamaan Tier III -vaatimuksiin ja jolle voidaan laskea riittävällä tarkkuudella lisäkustannusarvio. Toinen markkinoilta löytyvä ja Tier III -vaatimukset täyttävä menetelmä on nesteytetyn maakaasun käyttö polttoaineena. Tekniikka vaatii erikoismoottorin ja nesteytetyn maakaasun kuljetukseen ja varastointiin liittyvät infrastruktuurin. Kattavan infrastruktuurin puuttuminen ja laivapolttoaineena käytettävään maakaasun hintaan liittyvät, vielä avoimet tekijät eivät mahdollista tässä selvityksessä lisäkustannusten arvioimista riittävällä tarkkuudella. Uusia tekniikoita kuitenkin kehitetään parhaillaan ja joitakin on odotettavissa markkinoille ennen vuotta 2016. Voidaan olettaa, että uudet tekniikat ovat kustannuksiltaan SCR-laitteistoa edullisempia, joten tässä tutkimuksessa esitetyt laskelmat ovat todennäköisesti maksimikustannusarvioita.

Tässä selvityksessä on tehty tulevaisuusskenaariot SCR-järjestelmän aiheuttamille lisäkustannuksille. Tulevaisuusskenaariot perustuvat Suomessa vuonna 2008 käyneisiin laivoihin ja Suomessa vuonna 2008 käyneisiin suomalaisiin laivoihin. Kahta erilaista NOx-päästöjen valvonta-alueisiin liittyvää mahdollisuutta on arvioitu:

- 1) sekä Itämeri että Pohjanmeri tai
- 2) vain Itämeri nimetään NECA-alueiksi.

Pohjanmeren nimeäminen ei vaikuta investointikustannuksiin, koska Itämeren NECA-alueen toteutuessa kaikkien Suomessa käyvien uusien laivojen pitää olla Tier III -vaatimusten mukaisia (vuodesta 2016 alkaen). Pohjanmeren vaikutus lisäkustannuksiin näkyy suomalaisista satamista Pohjanmerelle liikennöivien alusten käyttökustannusten kasvuna, mikä nostaa Suomeen suuntautuvan alusliikenteen kokonaiskustannuksia noin 10 prosenttia (kaikki laivat yhteenlaskettuna). Laivatyyppikohtaiset erot ovat suurempia. Esimerkiksi Suomessa käyviin ro-ro-matkustaja-aluksiin (ropax), Pohjanmeren NECA-alueeksi nimeämisen merkitys on hyvin pieni, kun taas paljon Itämeren ulkopuolellakin purjehtivilla laivatyypeillä kustannusero on huomattavampi.

Investointikustannusten arvioinnissa on käytetty kahta laskentaskenaariota. Skenaario 1:ssä vuonna 2016 ja sen jälkeen kaikki uudet moottorit varustetaan SCR-laitteistolla. Jos aluksella on tarkoitus käyttää samanaikaisesti rikkipesuria, nostaa se SCR-laitteiston investointikustannusta, jotta laitteisto toimisi myös sellaisella polttoaineella, jonka rikkipitoisuus on suurempi. Skenaario 2:ssa oletetaan, että muodostuu NECA-alueelle erikoistuneiden alusten laivasto, jolloin SCR-laitteisto asennettaisiin vain siihen konetehosuuteen, joka vuonna 2008 muodosti 95 prosenttia kunkin laivatyyppin NOx-päästöistä. Tällä menetelmällä tulevaisuusskenaariosta saa poistettua laivat, jotka lähtövuonna 2008 vain kävisivät Itämeren alueella. Tällöin kokonaisinvestointikustannukset pienenevät joidenkin laivatyyppien osalta merkittävästi.

SCR-laitteiston hankintahintana on käytetty 50 euroa/kW. SCR-laitteiston osuus esimerkiksi 9 700 dwt:n ropax-aluksen hankintahinnasta olisi arviolta 2,6 prosenttia.

SCR-laitteiston käyttökustannuksista suurin osa muodostuu urean kulutuksesta. Urean hintana on laskelmissa käytetty 150 euroa tonnilta (40 painoprosenttinen urea) ja kulutuksena 10 prosenttia aluksen polttoaineen kulutuksesta. Käyttökustannuksista urean kulutuksen aiheuttaman osuuden on oletettu olevan 80 prosenttia. Tällä tavoin SCR-laitteiston kokonaiskäyttökustannukset saatiin laskelmissa sidottua laivan polttoaineen kulutukseen.

SCR-laitteiston kokonaiskustannuksia syntyisi arvion mukaan vuonna 2020 15–17 miljoonaa euroa, vuonna 2030 62–69 miljoonaa euroa ja vuonna 2040 135–150 miljoonaa euroa Suomessa käyville laivoille Itämeren ja Pohjanmeren ollessa NECA-alueita. Suomen lipun alla purjehtiville laivoille kustannukset ovat vastaavasti vuonna 2020 4 miljoonaa euroa, vuonna 2030 13 miljoonaa euroa ja vuonna 2040 26 miljoonaa euroa, siis huomattavasti vähemmän, koska myös laivoja on vähemmän. Vastaavat kustannukset silloin, kun vain Itämeri olisi NECA-alue, ovat Suomessa käyville laivoille vuonna 2020 14–16 miljoonaa euroa, vuonna 2030 55–63 miljoonaa euroa ja vuonna 2040 121–136 miljoonaa euroa. (Taulukko 8.1) Suomen lipun alla purjehtiville laivoille ei tehty arviota tapauksessa, jolloin vain Itämeri nimitettäisiin NECA-alueeksi. Voidaan kuitenkin päätellä, että kustannusero on suhteessa Suomessa käyviin laivoihin pienempi, koska suomalaiset laivat liikennöivät enemmän Itämeren alueella. Yksittäisten laivojen kohdalla lisäkustannuserot voivat kuitenkin olla huomattavia.

Taulukko 8.1 Lisäkustannuksia vuosina 2020, 2030 ja 2040 NO_x-päästöjen valvonta-alueiden erilaisissa toteutusvaihtoehdoissa. HELCOM-skenaariot osoittavat koko Itämeren laivaston lisäkustannukset Itämeren ollessa NECA-alue.

Skenaario	Vuosi		
	2020	2030	2040
HELCOM Skenaario 1	57 milj. €	213 milj. €	454 milj. €
HELCOM Skenaario 2	43 milj. €	160 milj. €	331 milj. €
Suomessa käyneet laivat, Skenaario 1, Itämeri + Pohjanmeri NECA	17 milj. €	69 milj. €	150 milj. €
Suomessa käyneet laivat, Skenaario 2, Itämeri + Pohjanmeri NECA	15 milj. €	62 milj. €	135 milj. €
Suomessa käyneet laivat, Skenaario 1, Itämeri NECA	16 milj. €	63 milj. €	136 milj. €
Suomessa käyneet laivat, Skenaario 2, Itämeri NECA	14 milj. €	55 milj. €	121 milj. €
Suomessa käyneet suomalaiset laivat, Skenaario 1, Itämeri + Pohjanmeri NECA	4 milj. €	13 milj. €	26 milj. €

Uusiin aluksiin asennettava SCR-laitteisto lisää alusten päiväkustannuksia keskimäärin 3,4 prosenttia verrattuna kustannusrakenteeseen vuonna 2010. Kustannusnousu riippuu aluskoosta ja alustyyppistä, vaihteluväli on 2,0–4,5 prosenttia. Laitteiston vaatiman urean

kustannusvaikutus on 5,3 prosenttia nykytilanteen mukaisen (perustuu lokakuun 2008 ja lokakuun 2010 välisen kolmen vuoden keskimääräiseen polttoainehintaan) ”polttoainekustannus”-luokan kokonaiskustannuksista, koska urean kulutus riippuu polttoaineenkulutuksesta. Urean hinta ei riipu polttoaineen hinnasta, joten polttoaineen hinnan noustessa urean suhteellinen kustannusvaikutus alenee.

Typipäästöjen rajoittaminen vaikuttaa rahtihintatasoon kuljetuskustannuksia nostavasti sitä mukaa, kun aluskanta uudistuu eli kun vuoden 2015 jälkeen rakennettujen alusten osuus koko aluskannassa kasvaa. Laskelmissa oletuksena on ollut, että jokainen vuoden 2015 jälkeen elinkaarensa päähän tullut alus korvataan vastaavalla uudella aluksella. Mahdollisia alusten siirtoja muualta tai aluskoon kasvua yms. tekijöitä ei ole otettu huomioon. Toinen oletus on, että varustamot siirtävät kohoavat kustannukset suoraan ja täysimääräisesti rahtihintoihin. Vuoteen 2040 mennessä merikuljetusten rahtikustannukset nousisivat typipäästörajoitusten vuoksi kuljetetusta tavaralajista ja kuljetukseen käytetystä aluskoosta riippuen arviolta 2–4 prosenttia verrattuna vuoden 2009 rahtitasoon.

Toimialoittain tarkasteltuna suurimmat lisäkustannukset kohdistuisivat metsäteollisuudelle, jonka osuus Suomen ja ulkomaiden välisissä merikuljetuksissa on viennin osalta noin puolet, ja muille palveluille, joiden osuus tuonnissa on lähes puolet energiatuotannon raaka-aineiden tuonnin vuoksi. Nykyisen teollisuusrakenteen perusteella metsäteollisuuden osuus lisäkustannuksista olisi noin 30 prosenttia ja muiden palveluiden noin 26 prosenttia, molemmat luvut perustuvat niiden osuuksiin Suomen ja ulkomaiden välisissä merikuljetuksissa.

Typipäästöjen rajoittamisen vaatimien teknologisten ratkaisujen eli käytännössä SCR-laitteistojen tai nesteyttävää maakaasua polttoaineena käyttävien moottorien aiheuttamien lisäkustannusten kompensointi taloudellisilla ohjauskeinoilla voisi olla yksi mahdollisuus vähentää kuljetuskustannuksiin kohdistuvia nousupaineita sekä kannustaa uuden ympäristöteknologian käyttöönottoon. Väylämaksujen suhteuttaminen aluksen typipäästöjen määrään olisi yksi mahdollinen ohjauskeino. MKK:n laskelmien mukaan HELCOM:in suosituksen (28E/13) käyttöön otto antaisi alustyyppistä riippuen vaihtelevan alennuksen vuosittaisista SCR-kustannuksista. Esimerkkialuksille laskettu väylämaksualennus voisi olla alustyyppistä ja -koosta sekä käyntikerroista riippuen 9–30 prosenttia ja alennus aluksen vuosittaisista SCR-kustannuksista enimmillään 5–45 prosenttia. Muita mahdollisia taloudellisia ohjauskeinoja voisivat olla erilaiset vero- ja rahastojärjestelmät sekä NOx-päästömaksujärjestelmät. Eri vaihtoehtojen toimivuus Suomen kannalta on kuitenkin arvioitava erikseen.

Suomessa voimassa oleva tonnistoverolaki mahdollistaa niin ikään typenoksidipäästöjen kuin muidenkin päästöjen vähentämiseen ja poistamiseen tarkoitettujen laitteiden hankintakustannusten vähentämisen. Marraskuussa 2010 annettu asetus alusten ympäristönsuojelua parantavien investointitukien yleisistä ehdoista mahdollistaa myös tukien myöntämisen ympäristönsuojelua parantaviin uudisalusinvestointeihin EU:n määrittelemien ympäristötukisuuntaviivojen mukaisesti.

Lähteet

AEA Technology (2009). *Cost Benefit Analysis to support the impact assessment accompanying the revision of Directive 1999/32/EC on the sulphur content of certain liquid fuels*. Final Report, AEA Technology.

Bunkerworld (2010). <<http://www.bunkerworld.com>>

Entec (2005). *European Commission Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments. Task 2b – NOx Abatement*, Final Report, Entec UK Limited.

Euroopan unionin komissio (2008). *Yhteisön suuntaviivat valtiontuesta ympäristönsuojelulle*. (2008/C 82/01)

HELCOM Recommendation 28E/13 (2007). Introducing economic incentives as a complement to existing regulations to reduce emissions from ships.
<http://www.helcom.fi/Recommendations/en_GB/rec28E_13/>

Jalkanen J.-P., A. Brink, J. Kalli, H. Pettersson, J. Kukkonen, and T. Stipa 2009. *A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area*. Atmos. Chem. Phys., 9, 9209–9223, 2009

Kalli Juha, Karvonen Tapio & Makkonen Teemu (2009). *Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015*. Selvitys IMO:n uusien määräysten vaikutuksista kuljetuskustannuksiin. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 20/2009.

Kalli Juha, Karvonen Tapio & Repka, Sari (2010). *Baltic NECA – Economic Impacts*. HELCOM.

Karvonen Tapio & Makkonen Teemu (2009). *Aluskustannukset 2009*. Merenkululaitoksen julkaisuja 3/2009.

Kågeson Per (2009). *Market-based Instruments for NOx abatement in the Baltic Sea*.

Liikennevirasto (2010). *Ulkomaan meriliikennetilasto 2009*.

Scandinavian Shipping Gazette 2010

Suomen Pankki (2010). Valuuttakurssit.
<<http://www.suomenpankki.fi/fi/tilastot/valuuttakurssit/index.htm>>

Wärtsilä 2008. 9.12.2010. The Nitrogen Oxides Reducer.
<http://wartsila.fi/Wartsila/global/docs/en/about_us/in_detail/2_2008/nitrogen-oxides-reducer.pdf>

Lait ja asetukset

Laki tonnistoverolain muuttamisesta. 1249/2009

Tonnistoverolaki. 476/2002

Valtioneuvoston asetus alusten ympäristönsuojelua parantavien investointitukien yleisistä ehdoista. 946/2010

Liite 1. MARPOL-yleissopimuksen VI liitteen mukaiset NOx-päästörajoitukset

Tier I

Moottoreiden, jotka ovat asennettu 1.1.2000 ja 1.1.2011 välisenä aikana, tulee täyttää Tier I -vaatimukset:

- a) 17.0 g/kWh, silloin kun n (moottorin kierrosnopeus) on alle 130 rpm
- b) $45 \cdot n^{(-0.2)}$ g/kWh, silloin kun n on 130 rpm tai enemmän, mutta alle 2000 rpm
- c) 9.8 g/kWh, silloin kun n on 2000 rpm tai enemmän.

Tier II

Moottoreiden, jotka ovat asennettu 1.1.2011 tai sen jälkeen, tulee täyttää Tier II -vaatimukset:

- a) 14.40 g/kWh, silloin kun n on alle 130 rpm
- b) $44 \cdot n^{(-0.23)}$ g/kWh, silloin kun n on 130 tai enemmän, mutta alle 2000 rpm
- c) 7.7 g/kWh, silloin kun n on yli 2000 rpm.

Tällä saavutetaan noin 15 % vähennys verrattuna nyt voimassa olevaan Tier I -tasoon.

Tier III

Moottoreiden, jotka ovat asennettu 1.1.2016 tai sen jälkeen, tulee täyttää Tier III -vaatimukset, silloin kun laiva liikkuu NOx-päästöjen valvonta-alueella (NOx emission control area):

- a) 3.4 g/kWh, silloin kun n on alle 130 rpm
- b) $9 \cdot n^{(-0.2)}$ g/kWh, silloin kun n on 130 tai enemmän, mutta alle 2000 rpm
- c) 2.0 g/kWh, silloin kun n on yli 2000 rpm.

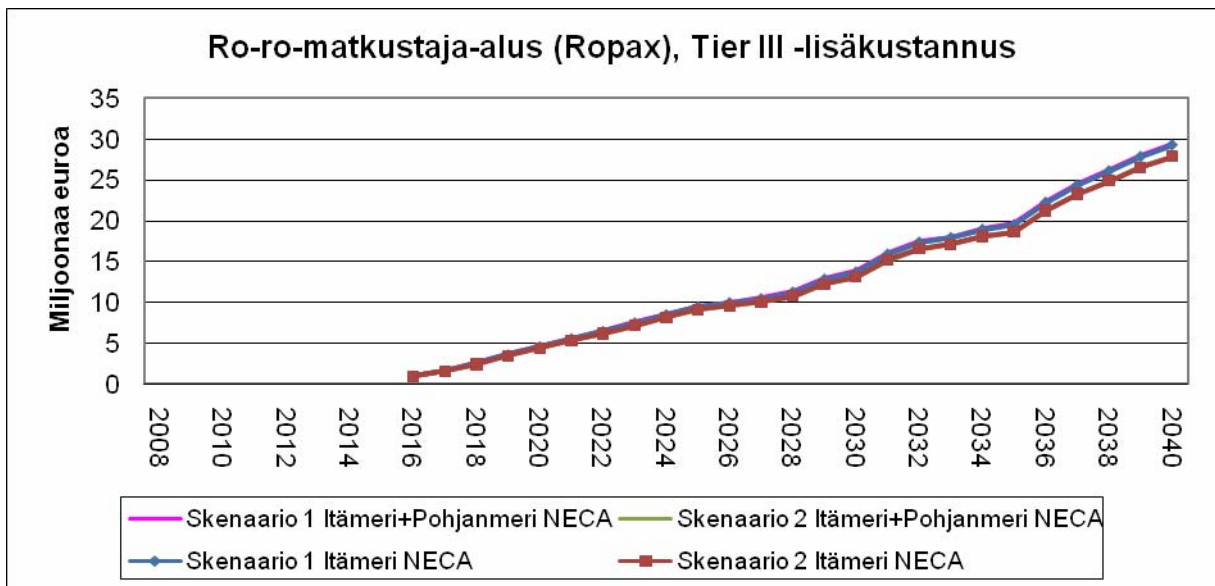
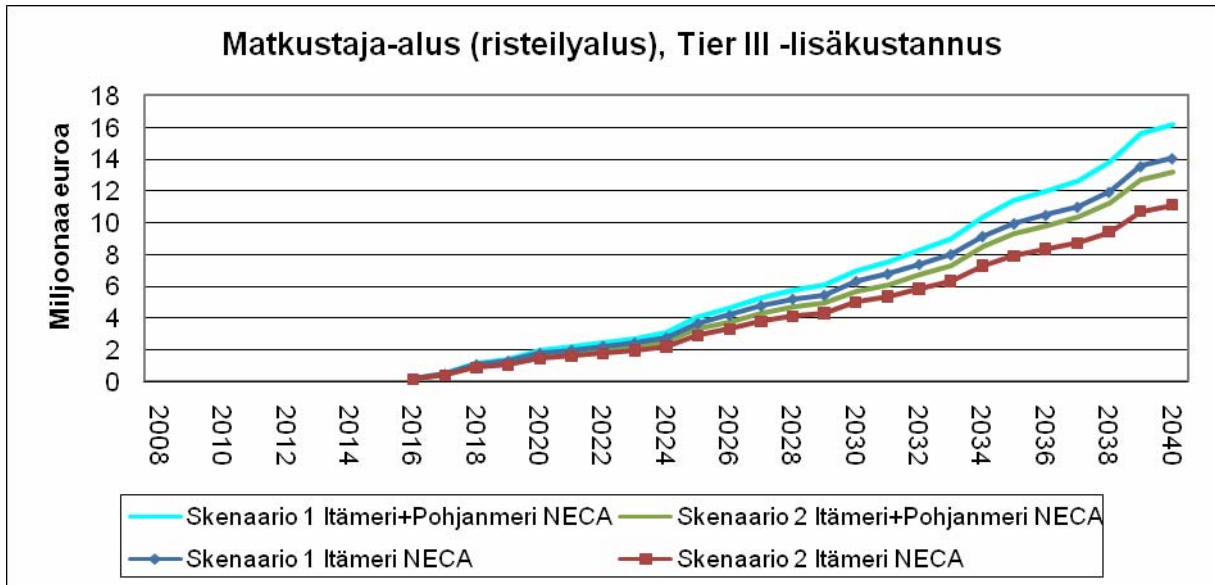
Valvonta-alue nimetään IMO:ssa tietyin kriteerein ja hyväksymiskäytännöin.

Tier III vastaa noin 80 % vähennystä Tier I -tasoon verrattuna.

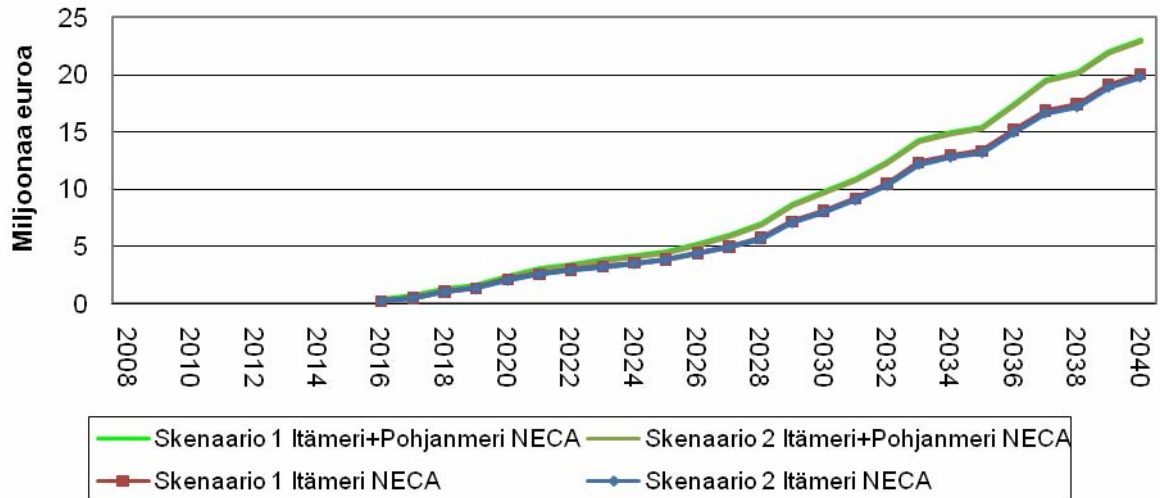
Laivat, jotka ovat rakennettu ennen vuotta 2000

Laivojen moottoreiden, jotka on asennettu 1.1.1990 ja 1.1.2000 välisenä aikana, tulee tietyin ehdoin täyttää Tier I -vaatimukset (1.7.2010 jälkeen).

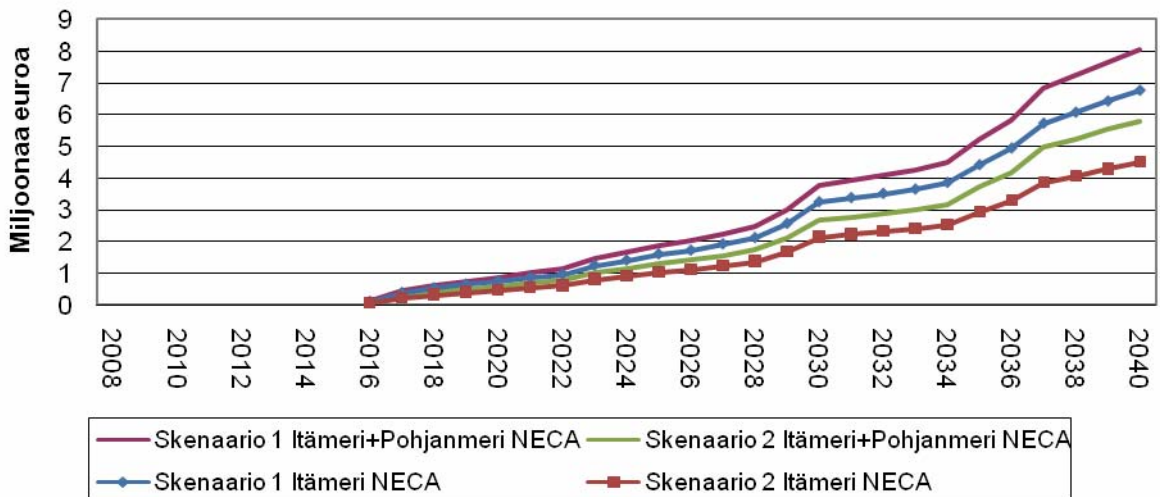
Liite 2. Alustyyppikohtaiset Tier III -lisäkustannukset



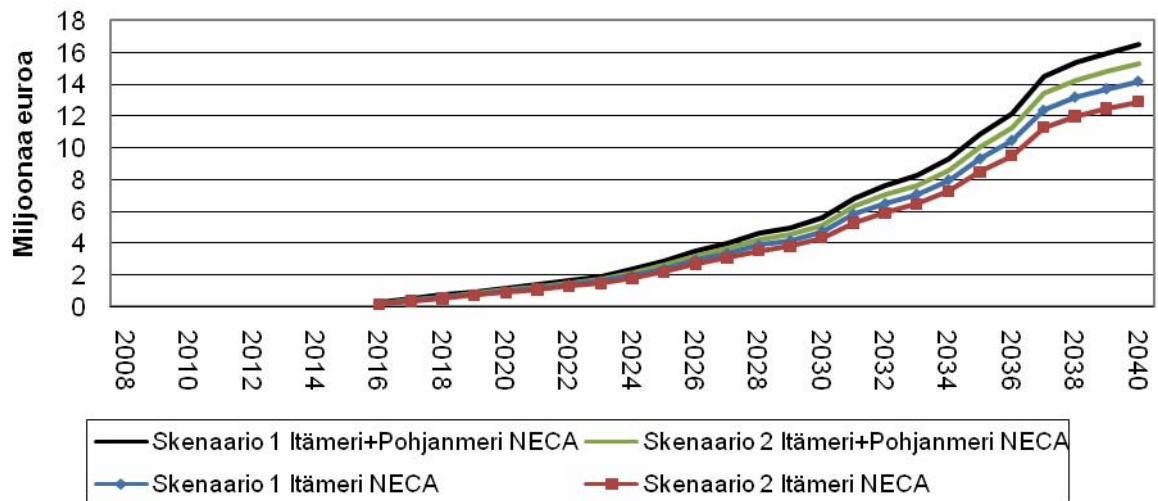
Ro-ro-lastialus (ro-ro), Tier III -lisäkustannus



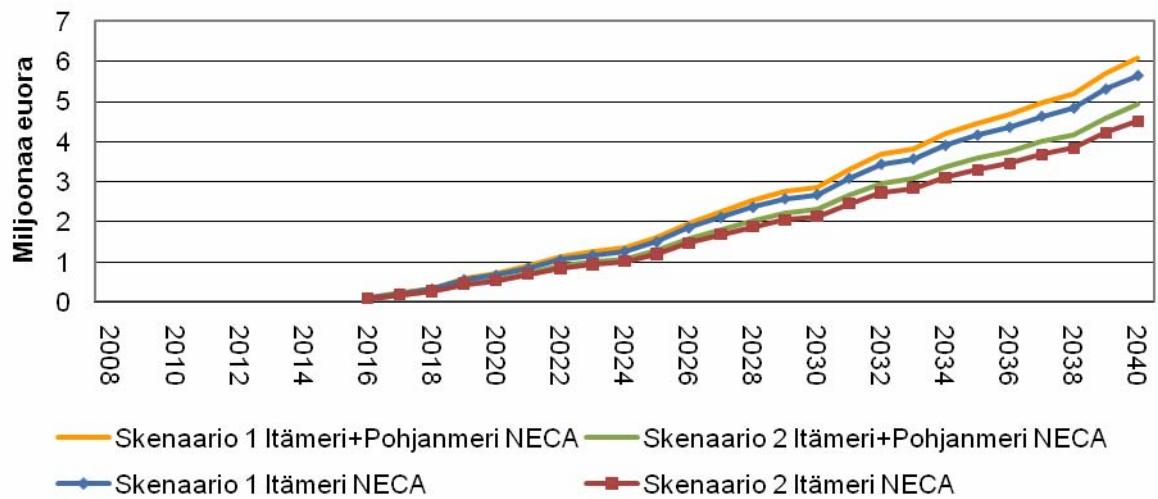
Ajoneuvojenkuljetusalus, Tier III -lisäkustannus



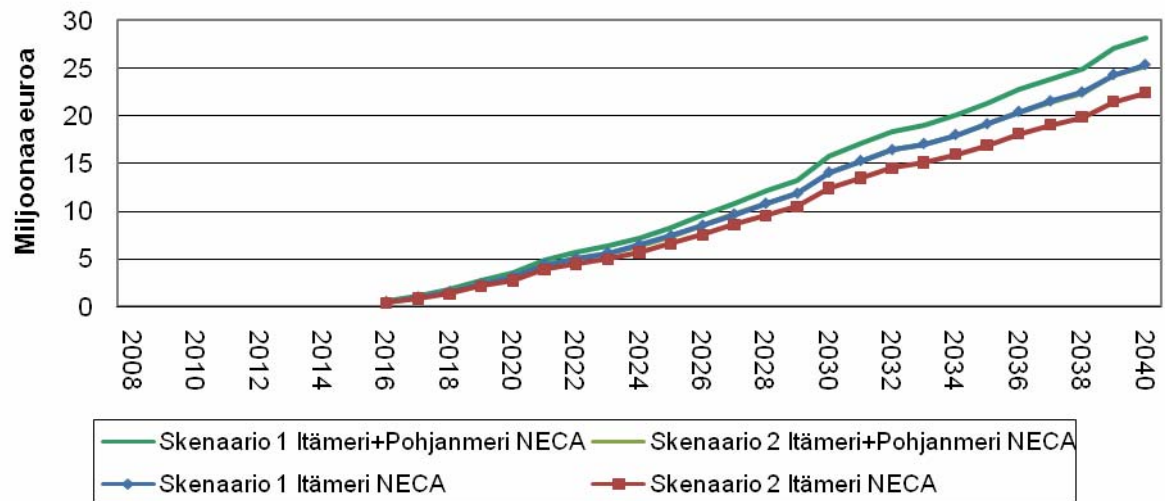
Konttialus, Tier III -lisäkustannus



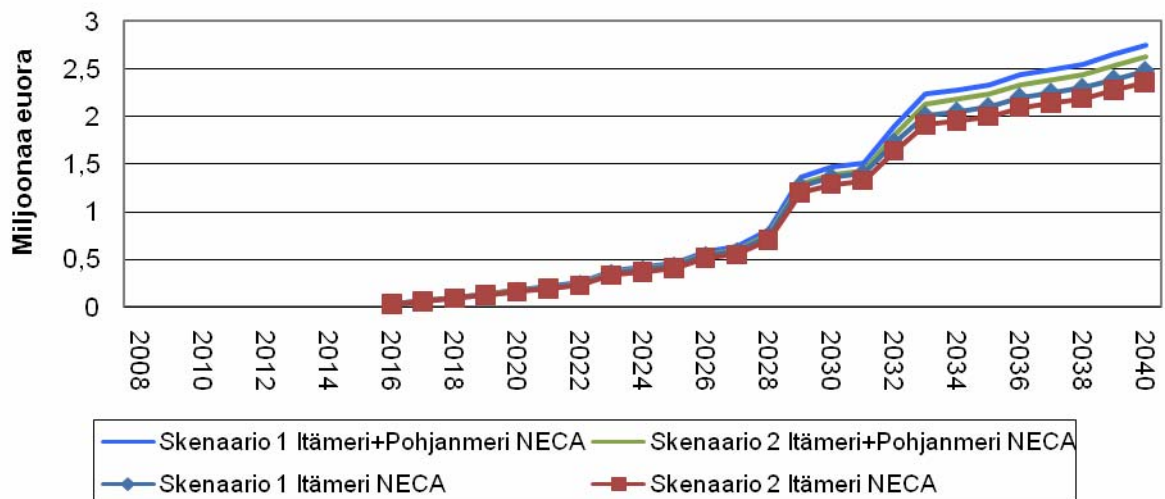
Irtolastialus (kuivabulk-alus), Tier III -lisäkustannus



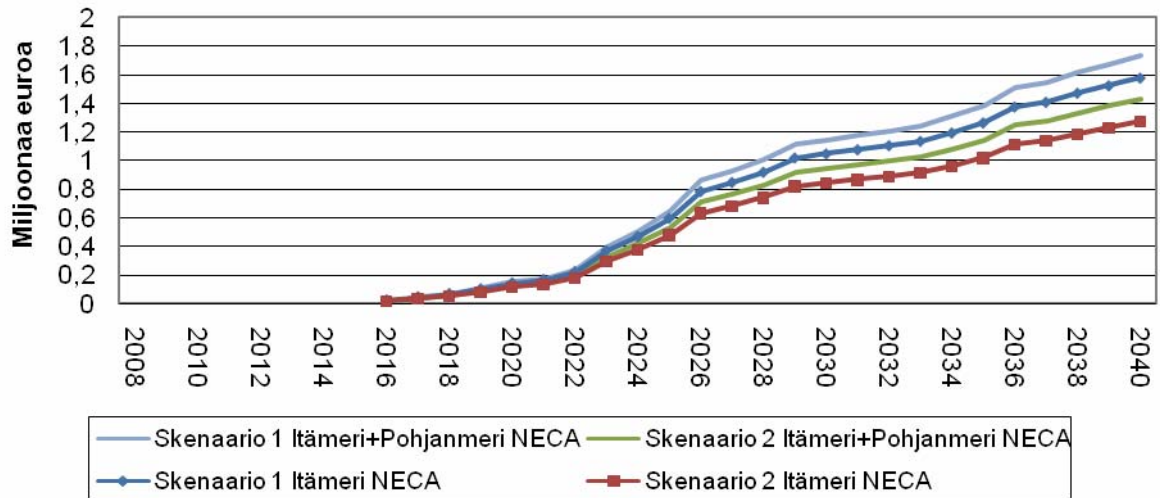
Kuivalastialus, Tier III -lisäkustannus



Öljysäiliöalus, Tier III -lisäkustannus



Kaasusäiliöalus, Tier III -lisäkustannus



Kemikaalisäiliöalus, Tier III -lisäkustannus

